

Aus der
Klinik für Kleintiere
der Veterinärmedizinischen Fakultät der Universität Leipzig

**Fluoroskopisch-kinematografische Beurteilung der kranio-kaudalen Kniegelenksstabilität
nach Tibial Plateau Leveling Osteotomy (TPLO)**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Grades eines
Doctor medicinae veterinariae (Dr. med. vet.)
durch die Veterinärmedizinische Fakultät
der Universität Leipzig

eingereicht von
Pia Lina Rebentrost
aus Leipzig

Leipzig, 2019

Mit Genehmigung der Veterinärmedizinischen Fakultät der Universität Leipzig

Dekan: Prof. Dr. Walter Brehm

Betreuer: Prof. Dr. Peter Böttcher

Gutachter: Prof. Dr. Peter Böttcher, Klinik für kleine Haustiere,
Fachbereich Veterinärmedizin, Freie Universität Berlin
Prof. Dr. Ursula Krotscheck, Department of Clinical Sciences,
College of Veterinary Medicine, Cornell University, Ithaca, USA

Tag der Verteidigung: 22.01.2019

INHALT

1	Einleitung.....	1
2	Literaturübersicht.....	4
2.1	Die Anatomie des kaninen Kniegelenks	4
2.1.1	Der knöcherne Aufbau	5
2.1.2	Die Gelenkkapsel	8
2.1.3	Die Menisken.....	8
2.1.4	Die Bänder	9
2.1.5	Die Muskulatur	11
2.1.6	Die Innervation und Blutgefäßversorgung.....	13
2.1.7	Die Biomechanik und funktionelle Anatomie des Kniegelenks	14
2.2	Der vordere Kreuzbandriss beim Hund.....	17
2.2.1	Vorkommen und Prädisposition	17
2.2.2	Ätiopathogenese	17
2.2.2.1	Avulsion des vorderen Kreuzbandes.....	18
2.2.2.2	Akute traumatische Ruptur des vorderen Kreuzbandes	18
2.2.2.3	Progressive Degeneration des vorderen Kreuzbandes.....	18
2.2.3	Auswirkungen.....	19
2.2.3.1	Knorpelschäden	19
2.2.3.2	Osteoarthrose	21
2.2.3.3	Meniskuspathologie.....	22
2.2.4	Diagnosestellung	23
2.2.4.1	Anamnese	23
2.2.4.2	Klinische Untersuchung	24
2.2.4.2.1	Manipulative Tests	24
2.2.4.3	Bildgebende Verfahren	26

2.2.4.3.1	Röntgendiagnostik.....	26
2.2.4.3.2	Nicht-invasive bildgebende Verfahren	27
2.2.4.4	Arthroskopie	27
2.2.4.5	Arthrotomie	28
2.2.5	Therapiemöglichkeiten.....	29
2.2.5.1	Konservative Therapiemöglichkeiten	29
2.2.5.2	Chirurgische Therapiemöglichkeiten	29
2.2.5.2.1	Intraartikuläre Operationsmethoden.....	29
2.2.5.2.2	Extraartikuläre Operationsmethoden	33
2.2.5.2.3	Dynamische Operationsmethoden	36
2.3	Über die Tibial Plateau Leveling Osteotomy	40
2.3.1	Biomechanische Grundlagen.....	40
2.3.2	Operationsplanung.....	41
2.3.3	Operationsdurchführung.....	42
2.3.4	Postoperatives Management	44
2.3.5	Komplikationen	44
2.3.6	Andere Auswirkungen	47
2.3.6.1	Osteoarthrose	47
2.3.6.2	Belastung des kaudalen Kreuzbandes	49
2.3.6.3	Verdickung des Ligamentum patellae.....	50
2.4	Gliedmaßenfunktion	52
2.4.1	Ganganalyse	52
2.4.1.1	Die Force Plate Analyse.....	52
2.4.1.2	Die Kinematografie	55
2.4.1.2.1	Die Videokinematografie.....	55
2.4.1.2.2	Die fluoroskopische Kinematografie	56

3	Material und Methoden	59
3.1	Patienten und Studiendesign	59
3.1.1	Retrospektive Studie	59
3.1.2	Prospektive Studie.....	59
3.2	Untersuchungsablauf	60
3.2.1	Klinische Untersuchung.....	60
3.2.2	Präoperative radiologische Untersuchung.....	60
3.2.3	Fluoroskopie	62
3.2.4	Vorbereitung der Patienten auf die Operation	64
3.2.5	Operative Versorgung	65
3.2.5.1	Arthroskopie	65
3.2.5.2	TPLO	66
3.2.6	Postoperative radiologische Untersuchung.....	67
3.2.7	Nachsorge.....	68
3.2.8	Kontrolle sechs bis acht Wochen post operationem	69
3.2.9	Statistik	69
4	Ergebnisse	71
4.1	Retrospektive Studie	71
4.1.1	Patienten	71
4.1.2	Klinische Befunde	71
4.1.3	Arthroskopische Befunde	71
4.1.4	TPLO.....	72
4.1.5	Kranio-kaudale Stabilität	72
4.1.6	Dicke der Patellarsehne.....	72
4.2	Prospektive Studie.....	73
4.2.1	Patienten	73

4.2.2	Klinische Befunde	73
4.2.3	Arthroskopische Befunde	74
4.2.4	TPLO.....	74
4.2.5	Kranio-kaudale Stabilität	75
4.2.6	Dicke der Patellarsehne.....	75
4.3	Vergleichende Betrachtung.....	75
4.3.1	Meniskusteilresektion	75
4.3.2	Tibiaplateauwinkel	76
4.3.3	Rotationswinkel.....	78
4.3.4	Tuberositas tibiae	79
4.3.5	Kranio-kaudale Stabilität	80
4.3.6	Dicke der Patellarsehne.....	80
5	Diskussion.....	85
5.1	Methodik	85
5.2	Ergebnisse	87
5.2.1	Klinische Untersuchung.....	87
5.2.2	Meniskusteilresektion	88
5.2.3	Tibiaplateauwinkel	89
5.2.4	Rotationswinkel.....	90
5.2.5	Dicke der Patellarsehne.....	91
5.3	Schlussfolgerung.....	95
6	Zusammenfassung.....	96
7	Summary	98
8	Literaturverzeichnis.....	100
9	Anhang.....	115

ABKÜRZUNGEN

A.	Arteria
Art.	Articulatio
CTWO	Cranial Tibial Wedge Osteotomy, kraniale Tibiakeilosteotomie
DZLPD	Dickenzunahme des Ligamentum patellae distal
DZLPP	Dickenzunahme des Ligamentum patellae proximal
et al.	et alii / et aliae
i.v.	Intravenös
Lig.	Ligamentum
Ligg.	Ligamenta
M.	Musculus
Mm.	Musculi
MTR	Meniskusteilresektion
N.	Nervus
PB	Peter Böttcher
PR	Pia Rebentrost
ROT	Rotationswinkel
s.c.	Subkutan
TPA	Tibial Plateau Angle, Tibiaplateauwinkel
TPAPO	Tibiaplateauwinkel postoperativ
TPLO	Tibial Plateau Leveling Osteotomy, Umstellungsosteotomie des Tibiaplateaus
TT	Tuberositas tibiae
TTA	Tibial Tuberosity Advancement
TTO	Triple Tibial Osteotomy
V.	Vena

1 EINLEITUNG

Die Ruptur des vorderen Kreuzbandes stellt beim Hund die häufigste Lahmheitsursache für die Hintergliedmaße dar (JOHNSON et al. 1994, NESS et al. 1996). Mittelgroße bis große Hunderassen sind meist betroffen und für den Labrador Retriever, den Neufundländer, Rottweiler sowie den Staffordshire-Terrier ist eine Rasseprädisposition beschrieben (WHITEHAIR et al. 1993, BUOTE et al. 2009). Der vordere Kreuzbandriss führt beim Hund zu einer belastungsabhängigen Kniegelenksinstabilität im Sinne einer femorotibialen Translationsbewegung (KIM et al. 2012). Im weiteren Verlauf kommt es zu einer progressiven Lahmheit und Dolenz sowie Degeneration des betroffenen Gelenks. Dabei handelt es sich um eine Fibrosierung der Gelenkkapsel, eine Schädigung des Gelenkknorpels, periartikuläre osteophytäre Zubildungen sowie sekundäre Meniskuspathologien (MARSHALL 1969, ARNOCHY und MARSHALL 1977, BRANDT et al. 1991), die zu einer funktionellen Beeinträchtigung des Kniegelenks bis hin zum kompletten Funktionsverlust führen können. Aufgrund der Häufigkeit der Erkrankung und der Folgen einer starken Ausprägung dieser degenerativen Veränderungen bei ausbleibender Therapie ist der kraniale Kreuzbandriss in der Kleintierorthopädie ein besonders bedeutsames Thema. Da mit Hilfe einer konservativen Therapie ausschließlich die Symptome gelindert und kein zufriedenstellendes Ergebnis erzielt werden kann, ist die operative Versorgung das Mittel der Wahl (POND und CAMPBELL 1972, DE MEDEIROS et al. 2011, BÖDDEKER et al. 2012). Seit der Erstbeschreibung der vorderen Kreuzbandruptur durch CARLIN (1926) sind eine Vielzahl unterschiedlicher Operationsmethoden zur Stabilisierung des kaninen Kniegelenks beschrieben worden. Die klinische Manifestation dieser Erkrankung sowie eine intraartikuläre Versorgungsmethode wurden erstmals von PAATSAMA (1952) veröffentlicht. Es etablierten sich über die Jahre weitere intraartikuläre und auch extraartikuläre Verfahren (DEANGELIS und LAU 1970, FLO 1975, HULSE et al. 1980, SMITH und TORG 1985, COOK et al. 2010). Bei den häufig betroffenen Hunden schwerer Rassen zeigten sich die extraartikulären Fadenzügelmethoden weniger effektiv, sodass eine erneute oder persistierende Instabilität des Kniegelenks und eine damit einhergehende Lahmheit und Dolenz auftraten. Diese Instabilität entsteht durch Lockerung, Ausdehnung oder Reißen des Materials (BÖTTCHER et al. 2010). Alternativ wurden Umstellungsosteotomieverfahren der proximalen Tibia entwickelt, welche auf einer Veränderung der Biomechanik des Kniegelenks beruhen und dadurch die

Translationsbewegung bei Belastung des Gelenks verhindern sollen (SLOCUM und DEVINE 1984, SLOCUM und DEVINE SLOCUM 1993, MONTAVON et al. 2002, BRUCE et al. 2007). Die femorotibialen Kontaktmechanismen eines gesunden Kniegelenks konnten hiermit nicht vollständig wiederhergestellt werden (KIM et al. 2009), jedoch erzielten sie bei großen Hunden sehr gute klinische Ergebnisse (BOYD et al. 2007, CHRISTOPHER et al. 2013). Die Tibial Plateau Leveling Osteotomy (TPLO) ist aktuell eine der am häufigsten eingesetzten Operationmethoden zur Therapie des vorderen Kreuzbandrisses beim Hund (LEIGHTON 1999, COMERFORD et al. 2013). In vitro wurde bereits von KIM et al. (2009) die komplette Wiederherstellung der Kniegelenksstabilität nach TPLO beschrieben. Allerdings wiesen die Autoren im Jahr 2012 nach operativer Versorgung eines vollständigen vorderen Kreuzbandrisses mittels TPLO eine 30-prozentige femorotibiale Subluxation der Gelenke während der Standphase nach (KIM et al. 2012). Diese Beobachtung steht im offensichtlichen Widerspruch zu den Ergebnissen aus ex-vivo Studien zur TPLO, welche alle eine Wiederherstellung der kranio-kaudalen Kniegelenksstabilität nach TPLO in 100 % der Gelenke attestieren (REIF et al. 2002, SHAHAR und MILGRAM 2006). Beim in-vivo Vergleich der TPLO mit der extrakapsulären Fadenzügelmethode, der TTA und einer gesunden Kontrollgruppe konnten KROTSCHECK et al. (2016) mit Hilfe der Force-Plate Ganganalyse nur nach der TPLO eine normale Gelenkfunktion im Trab beobachten. Zudem zeigten die Probanden dieser Studie nach der TPLO eine kürzere Rehabilitationsphase im Vergleich zu den anderen Verfahren. Daraus ergibt sich eine Tendenz zur TPLO als Operationsmethode der Wahl (BERGH et al. 2014).

Neben einer persistierenden Instabilität ist eine weitere häufige Beobachtung nach der TPLO die Verdickung des Ligamentum patellae (Lig. patellae). Diese tritt vorwiegend distal im Bereich der Insertion an der Tuberositas tibiae auf und ist meist ohne klinische Relevanz (CAREY et al. 2005, MATTERN et al. 2006). Bei einer aus der Verdickung resultierenden Tendinose zeigen die Patienten jedoch eine über mehrere Monate anhaltende Lahmheit mit lokaler Druckdolenz im betroffenen Abschnitt der Patellarsehne (CAREY et al. 2005). Beschriebene Risikofaktoren für eine solche Verdickung des Kniescheibenbandes sind die durch die TPLO bedingte Änderung der Biomechanik an sich, die Reizung des Bandes durch Retraktion in der Operation bzw. thermische Reizung durch das Sägeblatt während der Osteotomie, eine besonders kranial gelegene Osteotomie, eine partielle vordere Kreuzbandruptur, ein postoperativer Tibiaplateauwinkel (TPA) von unter 6°, ein hohes

Körpergewicht und eine postoperative Fraktur der Tuberositas tibiae (KOWALESKI und MCCARTHY 2004, CAREY et al. 2005, MATTERN et al. 2006).

In der vorliegenden Arbeit sollen folgende Fragestellungen thematisiert werden:

- (1) Wie wirkt sich die TPLO in der Bewegung auf die kranio-kaudale Kniegelenksstabilität bei vollständiger vorderer Kreuzbandruptur aus?
- (2) Hat eine Meniskusteilresektion einen Einfluss auf die postoperative Kniegelenksstabilität?
- (3) Wie häufig kommt eine Verdickung des Lig. patellae nach einer TPLO vor?
- (4) Welche Faktoren beeinflussen die Dickenzunahme des Lig. patellae nach der Operation?

Damit ergeben sich als Ziele dieser Studie die Bestimmung der Prävalenz einer kranio-kaudalen Instabilität des kaninen Kniegelenks bei kompletter Ruptur des vorderen Kreuzbandes nach der TPLO sowie die Bestimmung der Prävalenz und Risikofaktoren der Verdickung des Lig. patellae nach TPLO.

Anhand der in der Studie von REY et al. (2014) erhobenen Daten aus der Klinik für Kleintiere der Universität Leipzig entstand der subjektive Eindruck, dass bei einem hohen postoperativen TPA fluoroskopisch vermehrt instabile Kniegelenke auftraten. Daraus ergab sich die Hypothese, dass bei einem niedrigen postoperativen TPA fluoroskopisch mehr stabile Kniegelenke zu beobachten sein würden. Aufgrund der Empfehlung eines postoperativen TPA von 5° wurde angenommen, dass bei einem Winkel $< 5^\circ$ die Stabilität der Kniegelenke zunimmt. Damit einhergehend wurde davon ausgegangen, dass bei einer starken Rotation des Fragmentes der proximalen Tibia nach der Osteotomie ebenfalls mehr stabile Kniegelenke zu verzeichnen wären. Da die Menisken im Kniegelenk als passive Stabilisatoren wirken, wurde vermutet, dass nach einer Teilmeniskektomie häufiger eine Instabilität zu erwarten wäre. Außerdem sollte die Hypothese, dass der postoperative TPA und der Rotationswinkel ebenso einen Einfluss auf die Verdickung des Lig. patellae haben könnten, geprüft werden. Aufgrund der Studien von MATTERN et al. (2006) und CAREY et al. (2005) wurde angenommen, dass eine besonders schmale kraniokaudale Ausdehnung der Tuberositas tibiae nach der Osteotomie eine starke Verdickung des Lig. patellae, vor allem im distalen Bereich, zur Folge hat.

2 LITERATURÜBERSICHT

2.1 Die Anatomie des kaninen Kniegelenks

Zur Beschreibung der Anatomie wurden die Lehrbücher von KÖNIG und LIEBICH (2005), NICKEL et al. (2003) und TOBIAS und JOHNSTON (2012) herangezogen.

Das kanine Kniegelenk (*Articulatio genus*) ist ein zusammengesetztes, inkongruentes und unvollkommenes Wechselgelenk, welches aus dem Kniekehlgelenk (*Articulatio femorotibialis*) und dem Kniescheibengelenk (*Articulatio femoropatellaris*) besteht.

Im Kniekehlgelenk artikulieren die stark gekrümmten Kondylen des Femurs über die je zu einem Femurkondylus zugehörigen beiden Menisken mit der annähernd ebenen proximalen Gelenkfläche der Tibia. Da zusätzlich zu der vorherrschenden Streck- und Beugebewegung auch, durch die Verschieblichkeit der Menisken bedingt, Drehbewegungen möglich sind, handelt es sich um ein unvollkommenes Wechselgelenk.

Das von der Trochlea ossis femoris und der Patella gebildete Kniescheibengelenk ist ein Schlittengelenk. Die Patella gleitet synchron zu jedem Bewegungsablauf des Kniekehlgelenks auf der Kniescheibenrolle.

Als *Articulatio tibiofibularis proximalis* wird das straffe Gelenk zwischen dem Fibulakopf und der proximalen Tibia bezeichnet.

Die gelenkigen Verbindungen der *Ossa sesamoidea musculi gastrocnemii* mit dem Femur werden unter 2.1.1. beschrieben.

In Abbildung 1 ist die Anatomie des kaninen Kniegelenks dargestellt.

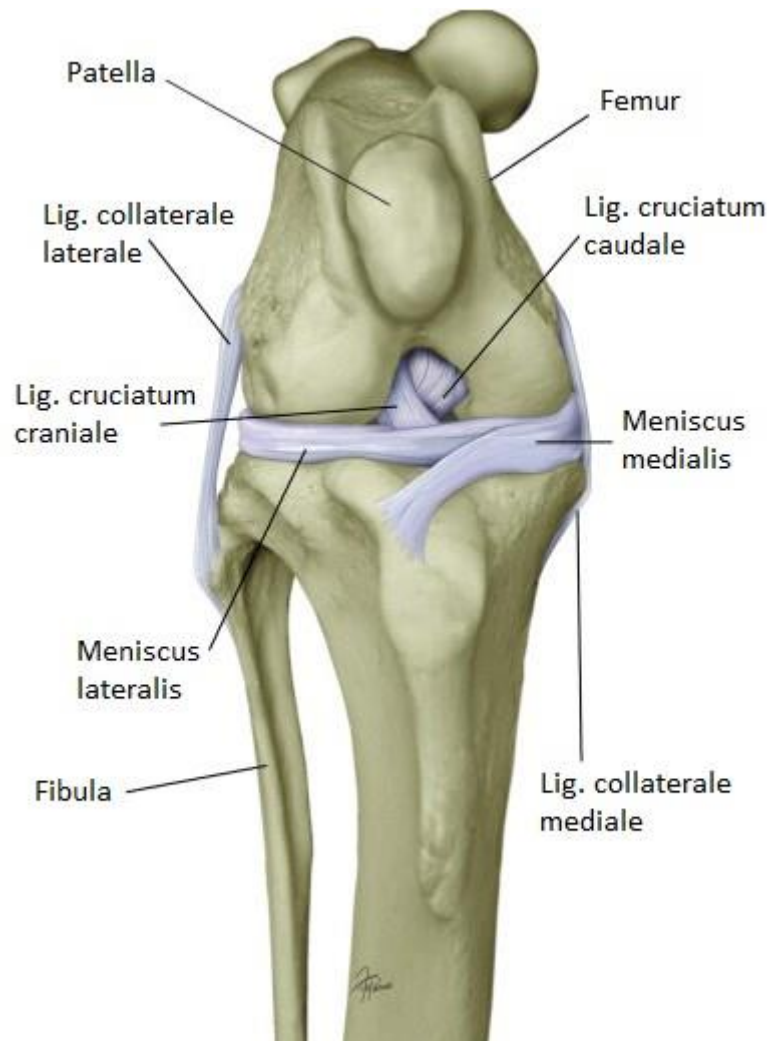


Abbildung 1: Die Anatomie des kaninen Kniegelenks
Kraniokaudale Übersicht, modifiziert aus CANAPP (2007)

2.1.1 Der knöcherne Aufbau

Zu den knöchernen Anteilen des Kniegelenks gehören die distale Gelenkfläche des Femurs, der proximale Anteil der Tibia, die Patella sowie die Fabellae.

Das Oberschenkel skelett wird aus dem Oberschenkelbein (Os femoris), auch Femur genannt, gebildet. Als kräftigster aller Röhrenknochen übernimmt er wesentliche Last- und Stützfunktionen. Am Kniegelenk ist der distale Anteil des Femurs beteiligt, weshalb ausschließlich dieser im Folgenden näher beschrieben wird.

Die kranial gelegene Kniescheibenrolle (Trochlea ossis femoris) besteht aus zwei Rollkämmen, welche durch eine mittlere Furche (Sulcus patellaris) getrennt sind. Beim Hund sind die Rollkämme niedrig und etwa gleich groß ausgeprägt. Die Kniescheibenrolle bildet das

Gleitlager für die Patella. Proximal davon befindet sich die Fossa suprapatellaris. Kaudal wird das distale Endstück des Femurs durch die beiden Gelenkknollen (Condylus lateralis et medialis) dominiert. Diese sind durch die tiefe Zwischenknollenrinne (Fossa intercondylaris) voneinander getrennt. Die Abgrenzung zur kaudal gelegenen Facies poplitea bildet die Linea intercondylaris, welche horizontal verläuft. Abaxial der Kondylen befinden sich beidseitig als kleine Bandhöcker ausgeprägte Rauigkeiten (Epicondylus lateralis et medialis), welche als Ansatz für die Seitenbänder (Ligg. collateralia) dienen. Der laterale Kondylus weist zwei direkt am Gelenkrand liegende Muskelgruben auf. Die kraniale der beiden Gruben dient als Ursprungsgebiet des M. extensor digitorum longus. Die kaudale stellt die Ursprungsfläche des Kniekehlmuskels, M. popliteus, dar. Zur Artikulation mit den kleinen Sesambeinen des M. gastrocnemius (Ossa sesamoidea musculi gastrocnemii, Fabellae) befinden sich an der Kaudalfläche der Kondylen jeweils kleine, ebene Gelenkflächen. Die Fabellae liegen in der jeweiligen Ursprungssehne des M. gastrocnemius, welcher an der Tuberositas supracondylaris lateralis und medialis proximal der Kondylen ansetzt.

Als distaler Abschnitt der Gliedmaßensäule wird das Unterschenkelskelett aus dem kräftigen Schienbein (Tibia) und dem deutlich schwächeren Wadenbein (Fibula) gebildet. Lateral liegt die Fibula der Tibia direkt an und verläuft zu dieser annähernd parallel. Es folgt die Beschreibung des proximalen Anteils des Unterschenkelskeletts, welcher am Kniegelenk beteiligt ist.

Die Extremitas proximalis der Tibia zeichnet sich durch eine dreieckige Grundform aus, welche spitz nach kranial ausläuft. Das proximale Endstück ist flach und weist zwei Schienbeinknollen (Condylus lateralis und medialis) auf, welche kaudal durch den Kniekehlausschnitt (Incisura poplitea), der den gleichnamigen Muskel aufnimmt, eingekerbt sind. Die beiden Kondylen besitzen je eine Facies articularis proximalis, welche eine Einziehung für die jeweilige Kondyle des Femurs bzw. die distale Fläche des Meniskus aufweist. Die Facies articularis proximalis wird auch als Tibiaplateau bezeichnet. Zentral zwischen den beiden Gelenkflächen befindet sich der Zwischenknollenfortsatz (Eminentia intercondylaris), der durch eine kleine Zwischenfläche (Area intercondylaris centralis) in das Tuberculum intercondylare laterale und mediale geteilt wird. Kranial und kaudal dieser Erhebung befinden sich zwei Vertiefungen, die Area intercondylaris cranialis und caudalis, welche den Bändern des Kniekehlgelenks als Ansatz dienen. Kaudolateral an der Oberfläche des Condylus lateralis gelegen befindet sich die Facies articularis fibularis, an der die Tibia und der Fibulakopf artikulieren. Der Sulcus

extensorius zieht als Führungsrinne für den langen Zehenstrecker (*M. extensor digitorum longus*) kranial lateral tief in die Extremitas proximalis ein. Die leicht geschwungen verlaufende kraniale Schienbeinleiste (*Margo cranialis*) verdickt sich proximal zur gut tastbaren Schienbeinbeule (*Tuberositas tibiae*), die eine Ansatzfläche für die Patellarsehne (*Lig. patellae*) aufweist.

Die Fibula erreicht beim Hund die Länge der Tibia, reicht jedoch proximal nicht an die Femurkondylen heran und gehört somit nicht zum gewichtstragenden Anteil des Skeletts. Es werden der Fibulakopf (*Caput fibulae*), der Hals (*Collum fibulae*), das Mittelstück (*Corpus fibulae*) und das distale Ende (*Malleolus lateralis*), welches auch als lateraler Knöchel bezeichnet wird, unterschieden. Das lange, mit Bindegewebe gefüllte *Spatium interosseum cruris* trennt die Fibula von der Tibia und ist beim Fleischfresser ausschließlich proximal entwickelt.

Sesambeine werden auch Sehnenbeine genannt und liegen gelenksnah entweder innerhalb oder unterhalb einer Sehne und dienen somit als Abstandhalter der Sehne gegenüber dem Knochen. Die biomechanische Wirkung der Sehne wird dadurch optimiert und eine bessere Hebelwirkung erreicht. Die Kniescheibe (*Patella*) ist als größtes Sesambein des Körpers in die Endsehne des *M. quadriceps femoris*, das *Lig. patellae*, eingelagert. Sie ist eiförmig und besitzt eine abgerundete Basis, welche proximal als Muskelansatzfläche dient, und einen spitzen Apex, welcher nach distal weist. Ihre kaudale konvexe Gelenkfläche (*Facies articularis*) ist der *Trochlea ossis femoris* und ihre freie Oberfläche (*Facies cranialis*) der Haut zugewandt. Als Erweiterung der Patella dienen mediale und laterale parapatellare Knorpel, welche in die *Fascia genu* eingebettet sind. Diese dienen der Einschränkung des seitlichen Bewegungsspielraumes der Patella und somit der Vermeidung einer Patellaluxation. Die Patella selbst beeinflusst durch das Gleiten im *Sulcus patellaris* die Zugrichtung der Endsehne des *M. quadriceps femoris*, bietet eine größere Fläche zur Kraftverteilung der Sehne und schützt diese vor einer Druckschädigung. Die *Ossa sesamoidea musculi gastrocnemii*, auch Vesalische Sesambeine genannt, sind in die Ursprungssehne des *M. gastrocnemius* jeweils medial und lateral eingelagert. Das laterale Sesambein ist größer und nahezu kugelförmig. Es artikuliert in der *Facies articularis sesamoidea lateralis* mit dem kaudalen Anteil der lateralen Femurkondyle. Das mediale Sesambein ist kleiner und kantiger geformt. Es artikuliert in der *Facies articularis sesamoidea medialis* mit dem kaudalen Anteil der medialen Femurkondyle.

Das Os sesamoideum musculi poplitei ist das kleinste Sesambein. Es ist in der Ursprungssehne des Kniekehlmuskels (M. popliteus) eingeschlossen und artikuliert mit der lateralen Kondyle der Tibia. Das Nicht Vorhandensein oder eine abweichende Lokalisation der Fabellae sind bei gesunden Tieren als Normvariante anzusehen.

2.1.2 Die Gelenkkapsel

Das Kniegelenk besitzt eine weite Gelenkkapsel, welche beide Femurkondylen vollständig umschließt. Das Stratum fibrosum heftet sich als äußeres Blatt den Gelenkrändern und den äußeren Rändern der Menisken an. Der infrapatellare Fettkörper separiert das Stratum fibrosum vom inneren Blatt (Stratum synoviale). Dieses schiebt sich getrennt vom äußeren Blatt unvollständig zwischen die Gelenkfortsätze, sodass für jeden Kondylus eine eigene Synovialhöhle entsteht, die mit der jeweils anderen kommuniziert. Durch die Einlagerung der Menisken werden diese Synovialhöhlen weiterhin in eine proximale und eine distale Einheit unterteilt, die miteinander in Verbindung stehen. Der laterale Gelenksack weist zwei Exkavationen auf. Eine dieser Ausbuchtungen zieht in den Sulcus extensorius und umschließt in der Funktion eines Schleimbeutels die Ursprungssehne des M. extensor digitorum longus. Die zweite umfasst die Sehne des M. popliteus. Der mediale Gelenksack weist eine Verbindung mit der Synovialhöhle des Kniescheibengelenks auf.

2.1.3 Die Menisken

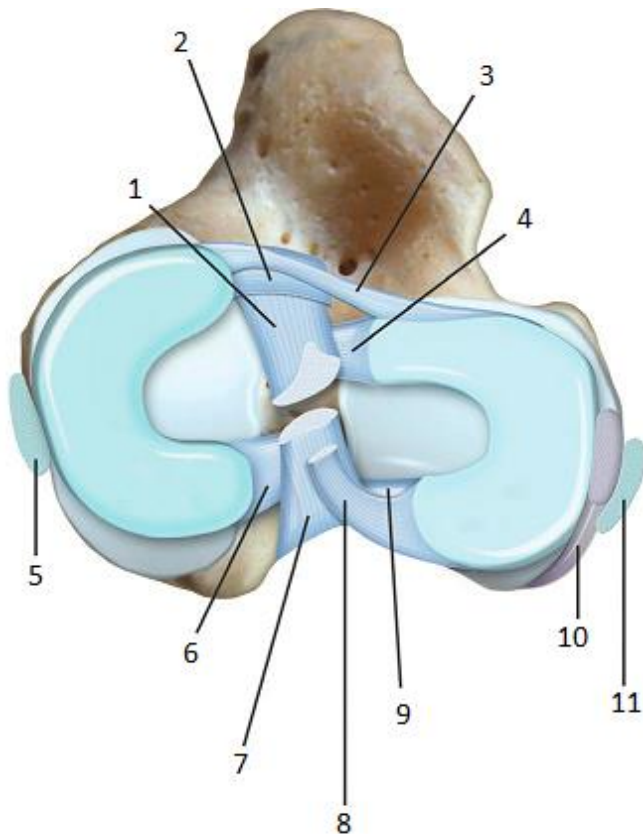
Zwischen den Kondylen von Femur und Tibia befinden sich die beiden Menisken, der Innenmeniskus (Meniscus medialis) und der Außenmeniskus (Meniscus lateralis). Diese bestehen aus Faserknorpel und weisen eine mandarinenscheibenartige Form mit einem scharfen, konkaven inneren und einem dicken, konvexen äußeren Rand auf. Die Kollagenfasern sind halbkreisförmig angeordnet. Aufgrund der Form der jeweiligen am Gelenk beteiligten Knochen ist die proximale Fläche der Menisken konkav und die distale Fläche plan ausgebildet. Hierdurch wird die nahezu ebene Fläche des Tibiaplateaus an die starke Krümmung der beiden Femurkondylen angepasst und die Inkongruenz der beiden Gelenkflächen ausgeglichen. Durch ihre Form und Elastizität funktionieren die Menisken als Stoßdämpfer im Gelenk, indem sie die Druckbelastung gleichmäßig auf den Gelenkflächen verteilen und erhöhen ebenso die Stabilität des Kniegelenks. Zur Fixation der Menisken an der

Tibia sind kraniale und kaudale Bandstrukturen vorhanden. Der mediale Meniskus ist zudem mit der Gelenkkapsel und dem medialen Seitenband verbunden. Dadurch zeigt dieser im Vergleich zum lateralen Meniskus bei Beugung und Streckung des Gelenks eine geringere Beweglichkeit.

2.1.4 Die Bänder

An der *Articulatio femoropatellaris* werden Bänder, die zur Fixation der Kniescheibe am Oberschenkel dienen und das Band der Endsehne des *M. quadriceps femoris* unterscheiden. Breitflächige Faszienverstärkungen (*Retinaculae patellae*) verlaufen beidseits zwischen der Sehne des *M. quadriceps femoris*, der Seitenfläche und der Basis der Patella sowie dem distalen Femur bzw. den Kondylen der Tibia. Als hervorgehobene Abschnitte dieser Strukturen sind die Kniescheibenseitenbänder (*Lig. femoropatellare laterale und mediale*) zu betrachten. Diese entspringen dem jeweiligen Bandhöcker des distalen Femurs und ziehen sowohl zum lateralen Rand der Patella als auch zu den Vesalischen Sesambeinen. Das laterale Kniescheibenseitenband ist kräftiger ausgeprägt. Beim Hund ist ein einziges Kniescheibenband (*Lig. patellae*) ausgebildet, welches als Endsehne des *M. quadriceps femoris* das Kniekehlgelenk kranial überspannt und an der *Tuberositas tibiae* inseriert.

Die Bänder der Menisken dienen deren Fixation (Abbildung 2). Die Menisken besitzen je ein kraniales und ein kaudales Band zur Verankerung an der Tibia. Der laterale Meniskus ist zusätzlich mit dem Femur verbunden. Zusätzlich sind beide Menisken über ein kraniales Band miteinander verbunden.



- (1) Lig. cruciatum craniale
- (2) Lig. tibiale craniale menisci medialis
- (3) Lig. transversum genus
- (4) Lig. tibiale craniale menisci lateralis
- (5) Lig. collaterale mediale
- (6) Lig. tibiale caudale menisci medialis
- (7) Lig. cruciatum caudale
- (8) Lig. Meniscofemorale
- (9) Lig. tibiale caudale menisci lateralis
- (10) Ursprungssehne des M. popliteus
- (11) Lig. collaterale laterale

Abbildung 2: Die Menisken und Bänder des Kniegelenks

Dorsale Ansicht, modifiziert aus TOBIAS und JOHNSTON (2012)

Die Bänder des Kniekehlgelenks stellen die Verbindung zwischen Femur, Tibia und Fibula her. Zwischen Epicondylus lateralis bzw. medialis des Femurs und der proximalen Tibia bzw. Fibula verlaufen die Seitenbänder (Lig. collaterale laterale bzw. mediale). Das laterale Seitenband inseriert sowohl an der lateralen Kondyle der Tibia als auch am Fibulakopf und hat keine Verbindung zum lateralen Meniskus. Das mediale Seitenband hingegen kommuniziert mit dem medialen Meniskus und inseriert an der medialen Tibiakondyle.

Die gekreuzten Bänder Lig. cruciatum craniale (vorderes Kreuzband) und Lig. cruciatum caudale (hinteres Kreuzband) liegen zentral in der Fossa intercondylaris. Das vordere Kreuzband entspringt an der Area intercondylaris der lateralen Femurkondyle und inseriert in der Area intercondylaris centralis der Tibia. Die beiden funktionellen Bestandteile des Bandes werden durch einen kraniomedialen und einen etwas größeren kaudolateralen Anteil gebildet. Das hintere Kreuzband verläuft im rechten Winkel zum vorderen Kreuzband und zieht von der Area intercondylaris der medialen Femurkondyle zur Incisura poplitea tibiae. Dieses besteht ebenfalls aus zwei funktionellen Einheiten, wobei der kranialen der größere

Anteil als dem kaudalen zugesprochen wird. Beide Kreuzbänder besitzen einen synovialen Überzug, d. h. sie verlaufen intrakapsulär, aber extrasynovial.

2.1.5 Die Muskulatur

Die Muskulatur im Bereich des Kniegelenks dient der Bewegung und sorgt neben den primären Stabilisatoren wie der Gelenkkapsel, den Seiten- und Kreuzbändern und Menisken für eine ausreichende dynamische Stabilisierung.

Der M. tensor fasciae latae entspringt an der Spina iliaca ventralis sowie aus der Endaponeurose des M. gluteus medius. Er inseriert dreizipfelig in die Fascia lata und überspannt diese bis zum Kniegelenk. Seiner Funktion nach ist er vorrangig als Beuger des Hüftgelenks, jedoch auch durch Anspannung des Fascia lata als Strecker des Kniegelenks anzusehen.

Als zweiköpfiger Oberschenkelmuskel ist der M. biceps femoris kräftig ausgeprägt. Sein kranialer, stärker ausgeprägter, oberflächlicher Hauptkopf und sein kaudaler, schwächerer, tieferer Nebenkopf entspringen am Lig. sacrotuberale und am lateralen Sitzbeinhöcker. Beide inserieren aponeurotisch an den Knie- und Unterschenkel-faszien und ziehen bis zur Patella, dem geraden Kniescheibenband und zur Tuberositas tibiae. Die Fersenbeinsehne stellt eine Abspaltung aus den distalen Muskelanteilen dar, welche lateral des M. gastrocnemius zieht und am Fersenbein inseriert. Der kraniale Kopf des Muskels wirkt als Strecker von Hüft- und Kniegelenk, während der kaudale Kopf der Beugung des Kniegelenks und durch die Abspaltung der Fersenbeinsehne der Streckung des Tarsus dient.

Der ebenfalls kräftig ausgeprägte M. semitendinosus, der halbsehnige Muskel, entspringt ventral am Tuber ischiadicum und inseriert zusammen mit den Endsehnen des M. gracilis und M. Sartorius medial am Margo cranialis tibiae (Pes anserinus superficialis). Auch dieser Muskel entlässt eine Fersenbeinsehne, welche medial über den M. gastrocnemius zieht und mit der Fersenbeinsehne des M. biceps femoris sowie des Fascia cruris verbunden zum Tendo accessorius am Tuber calcanei ansetzt. Er gilt als Strecker des Hüft-, Knie- und Sprunggelenks in der Stützbeinphase und als Beuger des Kniegelenks in der Hangbeinphase.

Wie auch der M. semitendinosus entspringt der halbhäutige M. semimembranosus ventral am Tuber ischiadicum. Er zieht an die medialen Kondylen des Femurs und der Tibia heran und

strahlt in die Ursprungsaponeurose des M. gastrocnemius ein. In der Stützbeinphase fungiert er als Strecker des Hüft- und Kniegelenks, in der Hangbeinphase führt er die Gliedmaße einwärts und rückwärts.

Die Pars cranialis des M. sartorius entspringt an der Crista iliaca oberhalb des Tuber ischiadicum, zieht nach medial und vereinigt sich mit der Oberschenkelfaszie und der Fascia genu. Seine Pars caudalis entspringt an der Spina iliaca ventralis und inseriert gemeinsam mit der Endaponeurose des M. gracilis medial am Margo cranialis tibiae. Neben der Beugung der Hüfte ist auch die Streckung des Kniegelenks eine seiner Funktionen.

Der M. gracilis entspringt aponeurotisch an der Symphysis pelvina und den Endsehnen des M. rectus abdominis. Beide Ursprungsaponeurosen vereinigen sich zu einer gemeinsamen Sehnenplatte, Tendo symphysialis. Ähnlich dem M. sartorius inseriert der schlanke Schenkelmuskel mit einer Aponeurose in die Fascia cruris und die Crista tibiae. Er wirkt als starker Adduktor der Beckengliedmaße und unterstützt die Streckung des Kniegelenks.

Als vierköpfiger Kniegelenkstrecker macht der M. quadriceps femoris die Hauptmasse der Muskulatur an der Vorderseite des Oberschenkels aus. Drei Köpfe (M. vastus lateralis, medialis und intermedius) entspringen entsprechend ihrer Bezeichnung am Femur, der vierte Kopf (M. rectus femoris) an der Darmbeinsäule. Alle vier Anteile dieses Muskels inserieren gemeinsam als Endsehne, in die die Patella als Sesambein eingelagert ist, an der Tuberositas tibiae. Es handelt sich hierbei um den stärksten Strecker des Kniegelenks, jedoch hat er auch eine stabilisierende Funktion. Die Beugung des Hüftgelenks wird durch den M. rectus femoris unterstützt.

Der Gelenkkapsel direkt aufliegend überspannt der M. popliteus den kaudalen Anteil des Kniegelenks. Mit einer Ursprungssehne, in die ebenfalls ein Sesambein eingelagert ist, entspringt er in der Fossa musculi poplitei an der lateralen Femurkondyle. Er zieht zwischen dem lateralen Kollateralband und dem lateralen Meniskus entlang und inseriert fächerförmig im proximalen Drittel der medialen und kaudalen Tibia an der Linea musculi poplitei. Der M. popliteus ist an der Beugung und Pronation des Unterschenkels beteiligt.

Mit einem Caput laterale und einem Caput mediale, welche durch eine Sehnenplatte getrennt sind, entspringt der zweiköpfige M. gastrocnemius am Labium laterale und mediale des Femurs. In beiden Ursprungssehnen eingeschlossen befinden sich die Fabellae. Beide Muskelköpfe bilden distal die Achillessehne als gemeinsame Endsehne, welche am Tuber

calcanei ansetzt. Der M. gastrocnemius wirkt primär als Strecker des Sprunggelenks, unterstützt jedoch auch die Beugung des Kniegelenks.

In der Fossa extensoria der lateralen Femurkondyle entspringt unterlagert von einer Ausstülpung des lateralen Kniekehlgelenksacks (Recessus subextensorius) der M. extensor digitorum longus. Seine Endsehne teilt sich in vier Schenkel, die an den Krallenbeinen der Stützzehen ansetzen. Durch seinen Verlauf ist er nicht nur ein Strecker der Zehen sondern auch ein Hilfsstrecker des Kniegelenks.

Der M. flexor digitorum superficialis hat seinen Ursprung zwischen den beiden Köpfen des M. gastrocnemius an der Tuberositas supracondylaris lateralis des Femurs und am lateralen Sesambein. Er inseriert mit einer flächigen Sehnenkappe (Fersenbeinkappe) am Tuber calcanei sowie nach zweimaliger Aufzweigung mit vier zarten Endsehnen jeweils an der Phalanx media der zweiten bis fünften Zehe. Hauptsächlich fungiert er als Beuger der Zehen, streckt jedoch auch den Tarsus und unterstützt ebenfalls die Beugung des Kniegelenks.

2.1.6 Die Innervation und Blutgefäßversorgung

Die Innervation des lateralen Anteils des Kniegelenks erfolgt primär durch den N. tibialis, die des medialen Anteils durch den N. saphenus, welche aus dem Plexus lumbosacralis abgehen. Die Haut im Bereich des Gelenks wird von den jeweiligen Ästen des N. iliohypogastricus, des N. cutaneus femoris lateralis und des N. fibularis communis innerviert. Im vorderen Kreuzband lassen sich zudem Mechanorezeptoren nachweisen, welche die belastungsabhängigen biomechanischen Verhältnisse im Gelenk über afferente Fasern weiterleiten.

Das Rete articulare genus wird durch die A. genus descendens, welche den medialen Patellar- und Kniekehlbereich sowie den intrapatellaren Fettkörper versorgt und die A. poplitea gebildet. Die Versorgung der medialen Gelenkseite geschieht vorrangig durch die A. saphena medialis, die der lateralen Seite über durch die A. caudalis femoris distalis. Die Kreuzbänder werden sowohl von kranial als auch von kaudal versorgt. Die Menisken werden lediglich zu 15 - 25 % in der Peripherie über einen Kapillarplexus versorgt, welcher von der A. genus media gebildet wird, versorgt.

2.1.7 Die Biomechanik und funktionelle Anatomie des Kniegelenks

Die Hauptbewegungen des Kniegelenks in der sagittalen Ebene sind Extension und Flexion. Aufgrund der anatomischen Gegebenheiten, d.h. der inkongruenten Gelenkflächen, der Bandstrukturen und der Menisken, handelt es sich jedoch nicht um eine reine uniplanare Bewegung. In der transversalen Ebene ist zusätzlich eine Rotationsbewegung möglich. Zwischen maximaler Extension und Flexion ergibt sich physiologisch eine Differenz von ca. 140° (MANN et al. 1988), welche rasseabhängig variieren kann. So konnte beim Labrador Retriever goniometrisch ein Winkel von 162° in maximaler Extension und 41° in maximaler Flexion ermittelt werden, woraus sich eine Differenz von 121° ergibt (JAEGER et al. 2002). Die primären Stabilisatoren des Kniegelenks in Extension sind die gestrafften Seitenbänder und das vordere Kreuzband. Diese schränken somit eine interne und externe Rotation der Tibia ein. Durch das Annähern der Fixationspunkte des lateralen Seitenbandes an Femur und Tibia während der Flexion entsteht eine Laxizität dessen, wobei das mediale Seitenband zu einem großen Teil gestrafft bleibt und nur an der kaudalen Begrenzung eine gewisse Lockerheit zeigt (VASSEUR und ARNOCZKY 1981). Die verminderte Spannung des lateralen Seitenbandes während der Flexion des Gelenks lässt ein Gleiten der lateralen Femurkondyle kaudal entlang der lateralen Kondyle der Tibia zu, was zu einer Innenrotation der Tibia führt. Umgekehrt führt die Extension des Gelenks zu einer Spannung des lateralen Seitenbandes, wodurch es zu Kranialbewegung der lateralen Kondyle des Femurs entlang der lateralen Tibiakondyle kommt, was in einer Außenrotation der Tibia resultiert (VASSEUR und ARNOCZKY 1981). Die walzenartige Form der Femurkondylen lässt eine geringgradige kranio-kaudale Translation zwischen Femur und Tibia in der Bewegung zu. Bei Beugung des Kniegelenks gleiten die femoralen Kondylen auf dem Tibiaplateau nach kaudal, bei Extension nach kranial. Eine geringe mediolaterale Beweglichkeit im Sinne einer Varus- und Valgusformation ist ebenfalls möglich. Die Valgusbewegung wird bei maximaler Extension durch das mediale Seitenband, die Varusbewegung durch das laterale Seitenband und die Kreuzbänder limitiert (MONAHAN et al. 1984). Bei einer 90°- Beugung wird die Valgusbewegung hingegen durch beide Seiten- und Kreuzbänder eingeschränkt (MONAHAN et al. 1984).

Als besonders wichtig für die Kniegelenksstabilität sowohl in der sagittalen als auch in der transversalen Ebene sind die Kreuzbänder anzusehen. Das vordere Kreuzband wirkt primär dem vorderen Tibiaschub (der kranialen Translation der Tibia in Relation zum Femur) und der Hyperextension des Kniegelenks entgegen (ARNOCZKY und MARSHALL 1977). Im

Umkehrschluss limitiert das hintere Kreuzband den hinteren Tibiaschub (die kaudale Translation der Tibia in Relation zum Femur) und ebenfalls die Hyperextension des Gelenks (ARNOCZKY und MARSHALL 1977). Zusätzlich wird durch die Windung der beiden Kreuzbänder umeinander bei Belastung die Innenrotation der Tibia eingeschränkt, während die Außenrotation hierdurch nicht beeinflusst wird (ARNOCZKY und MARSHALL 1977). Wie zuvor beschrieben sind die Kreuzbänder zudem an der Beeinflussung von Varus- und Valgusbewegungen im Kniegelenk beteiligt.

Die Menisken wirken in Statik und Dynamik als passive Kniegelenksstabilisatoren. Neben der Ausgleichsfunktion für die Inkongruenz im Gelenk fungieren sie bei ausbleibender Belastung als Platzhalter und limitieren den Kontakt zwischen den Kondylen von Femur und Tibia. Zudem dienen sie als Stoßdämpfer und Lastverteiler, sowie der gleichmäßigen Verteilung der Synovia entlang der Gelenkflächen. Wird Last aufgenommen, so vergrößert sich die Kontaktfläche zwischen Femurkondyle und Meniskus, sodass sowohl die Chondrozyten als auch die extrazelluläre Matrix des Gelenkknorpels durch die Verteilung der Last vor übermäßiger Belastung geschützt werden. Beide Menisken zusammen sind für 40 - 70 % der Belastungstransmission verantwortlich (KRAUSE et al. 1976). Die fibrokartilaginösen Menisken bestehen aus einem Netzwerk von kollagenen Fasern (hauptsächlich Kollagen Typ 1), wenigen Zellen und einer aus Proteoglykanen und Glykoproteinen zusammengesetzten Matrix (STEPHAN et al. 1998, KAMBIC und MCDEVITT 2005). Proteoglykane sind negativ geladene Makromoleküle und stark hydrophil. Sie können das bis zu fünfzigfache ihres Eigengewichts an Wasser binden (ADAMS und MUIR 1981), sodass sie unter anderem für die Kompressionsbelastbarkeit der Menisken verantwortlich sind. Die kollagenen Fasern sind in drei Schichten angeordnet. In der oberflächlichen Schicht sind sie zufällig angeordnet, woraus eine geringere Friktionsbewegung zwischen den Menisken und der femoralen bzw. tibialen Gelenkfläche resultiert (BULLOUGH et al. 1970). Im tieferen Anteil können strukturell zwei verschiedene Regionen unterschieden werden. Die Fasern des inneren Drittels verlaufen radiär, während die Fasern der äußeren zwei Drittel zirkumferentiell verlaufen (BULLOUGH et al. 1970). Durch diese strukturelle Aufteilung können Kompressionskräfte gleichmäßig auf das Tibiaplateau übertragen werden.

Neben den bereits genannten Strukturen, die als Stabilisatoren des Kniegelenks wirken, wird auch durch die das Kniegelenk umgebende Muskulatur eine übermäßige Beweglichkeit vermieden (Abbildung 3).

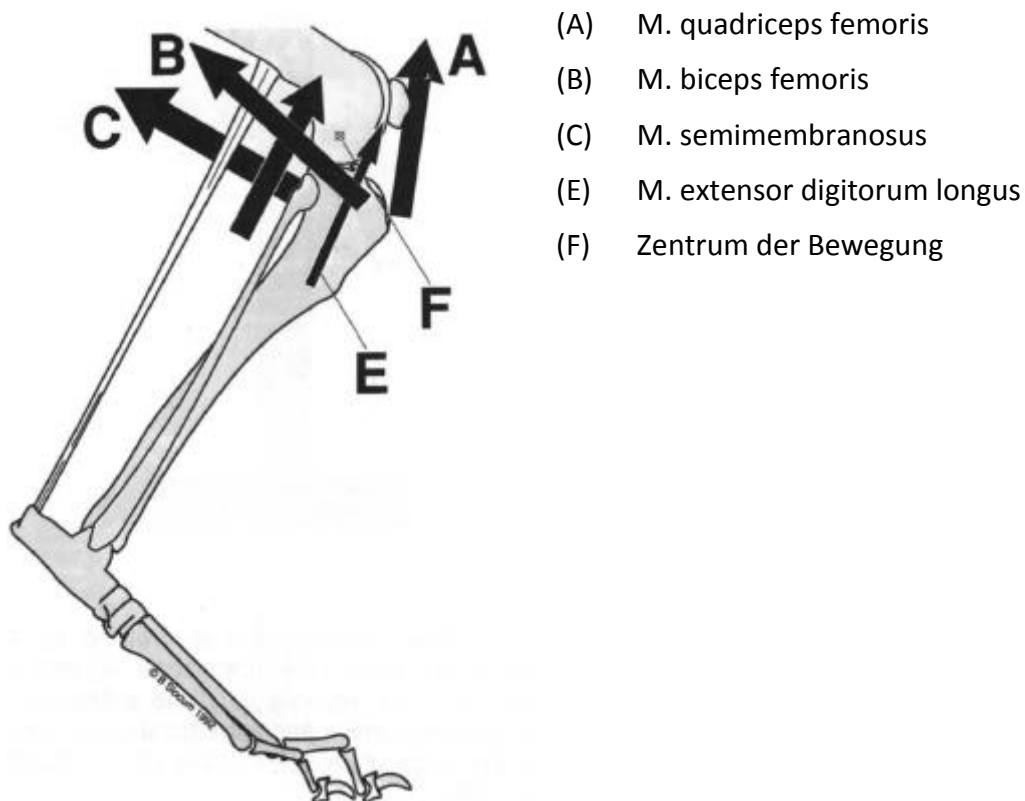


Abbildung 3: Vereinfachte Darstellung der im kaninen Kniegelenk wichtigsten hypothetisch wirkenden Kräfte (SLOCUM und DEVINE SLOCUM 1993)
Die Kraftwirkung der aktiven Stabilisatoren ist mit dem jeweiligen Pfeil dargestellt.

Die Gliedmaßenbeuger (M. semitendinosus und semimembranosus sowie der kaudale Anteil des M. biceps femoris) im Zusammenhang mit dem M. quadriceps femoris und dem M. gastrocnemius sind aktiv an der Stabilisation des Kniegelenks beteiligt. Wird Last auf die Gliedmaße aufgenommen, führt dies zu einer mechanischen Beanspruchung des vorderen Kreuzbandes. Dieses beherbergt zahlreiche Mechanorezeptoren, welche die Belastung erfassen und Potentiale weiterleiten, welche über einen Reflexbogen zu einer Kontraktion der Beugemuskulatur und zu einer gleichzeitigen Relaxation des M. quadriceps femoris führen (SOLOMONOW et al. 1987). Durch diese Synergie kann eine Instabilität bei Beeinträchtigung der primären Gelenksstabilisatoren in gewissem Maße ausgeglichen werden. Synergistisch zum vorderen Kreuzband wird bei Kontraktion des M. semitendinosus und semimembranosus die proximale Tibia nach kaudal gezogen, was in einer zusätzlichen Stabilisierung des Gelenks resultiert (KANNO et al. 2012). Der M. gastrocnemius und der M. quadriceps femoris wirken entgegengesetzt zum vorderen Kreuzband, d.h. bei einer Kontraktion bewirken sie eine Kompression der Tibia (KANNO et al. 2012).

2.2 Der vordere Kreuzbandriss beim Hund

2.2.1 Vorkommen und Prädisposition

Der vordere Kreuzbandriss ist die häufigste Ursache für eine Lahmheit der Hintergliedmaße beim Hund (INNES et al. 2000, RAGETLY et al. 2011). Viele Hunderassen können hiervon betroffen sein. Die größte Prävalenz konnte bei Hunden der Rassen Rottweiler, Neufundländer und Staffordshire Terrier detektiert werden. Die niedrigste Prävalenz zeigten Bassets, Dackel und Bobtails (WHITEHAIR et al. 1993). Eine vordere Kreuzbandruptur im Alter von unter zwei Jahren wurde für die Rassen Mastino Napoletano, Akita, Bernhardiner, Rottweiler, Mastiff, Neufundländer, Chesapeake Bay Retriever, Labrador Retriever und American Staffordshire Terrier beschrieben (DUVAL et al. 1999). Im Vergleich zu den männlichen sind weibliche Tiere häufiger betroffen (WHITEHAIR et al. 1993). Ebenso zeigt sich eine höhere Prävalenz für kastrierte Tiere (WHITEHAIR et al. 1993, DUVAL et al. 1999). Kleinere Hunde mit einem Körpergewicht von unter 22 kg erkrankten im Vergleich zu größeren Hunden später im Verlauf ihres Lebens (BARNES 1977, WHITEHAIR et al. 1993). Eine Ruptur des kontralateralen vorderen Kreuzbandes konnte für 37 % der Hunde beschrieben werden. Diese trat durchschnittlich 17 Monate nach der Diagnosestellung einer unilateralen vorderen Kreuzbandruptur auf. Die übrigen 63 % wiesen nach durchschnittlich 31 Monaten ein nach wie vor intaktes vorderes Kreuzband auf (DOVERSPIKE et al. 1993). In einer weiteren Studie zeigten 48 % der untersuchten Hunde eine Ruptur des kontralateralen Bandes nach durchschnittlich 5,5 Monaten (BUOTE et al. 2009). Die Messung des TPA des kontralateralen Kniegelenks erwies sich für die Abschätzung des Risikos für eine Ruptur des vorderen Kreuzbandes nicht als nützlich (CABRERA et al. 2008). Beim Labrador Retriever waren das Alter, der TPA, das Geschlecht und Gewicht ebenfalls keine Risikofaktoren für einen Riss des kontralateralen kranialen Kreuzbandes (BUOTE et al. 2009).

2.2.2 Ätiopathogenese

Die Ruptur des vorderen Kreuzbandes kommt beim Hund sehr selten traumatisch bedingt als Avulsion des Bandes an seiner femoralen oder tibialen Verankerung vor und häufig degenerativ ohne bekannte Ursache als partielle oder komplette Ruptur.

2.2.2.1 *Avulsion des vorderen Kreuzbandes*

Bei noch nicht ausgewachsenen Jungtieren kann es in Folge einer akuten Überbelastung bei einem Trauma zur Avulsion des Bandes inklusive eines femoralen oder tibialen knöchernen Ausrissfragmentes kommen. Dies geschieht aufgrund dessen, dass die Verbindung des Bandes mit dem Knochen über die Sharpey-Fasern stärker als der Knochen selbst ausgeprägt ist. Hierbei ist die Tibia häufiger als der Femur betroffen. Nach Entfernung des intraartikulären knöchernen Fragmentes sollte zur Stabilisierung des Kniegelenks eine Epiphysiodese der proximalen Tibia durchgeführt werden (VEZZONI et al. 2008). Hierfür wird der kraniale Anteil der proximalen Tibiaepiphyse mit einer Schraube blockiert, sodass durch das fortschreitende Wachstum im kaudalen Bereich eine Reduktion des TPA stattfindet.

2.2.2.2 *Akute traumatische Ruptur des vorderen Kreuzbandes*

Starke Belastung, traumatische Hyperextension oder übermäßige Innenrotation der Tibia können zu einer Überbelastung des vorderen Kreuzbandes und damit zu einer akuten Ruptur führen. Das mediale Seitenband ist hierbei häufig zusätzlich betroffen. Diese seltene Erkrankung führt zu einer starken Schmerzhaftigkeit, einer vermehrten Gelenksfüllung, einer ausgeprägten Lahmheit sowie einer Instabilität des betroffenen Kniegelenks. Radiologisch können keine osteophytären Zubildungen, jedoch ein deutlich vermehrter intraartikulärer Weichteilschatten, welcher für ein Ödem des infrapatellaren Fettkörpers und/oder eine massive Gelenkschwellung spricht, festgestellt werden. Die Therapie entspricht der des degenerativen vorderen Kreuzbandrisses.

2.2.2.3 *Progressive Degeneration des vorderen Kreuzbandes*

Die häufigste Form des vorderen Kreuzbandrisses beim Hund ist die erstmals 1926 beschriebene chronisch-progressive Degeneration. Mit zunehmendem Alter zeigt das vordere Kreuzband eine fortschreitende Materialschwäche, also eine Veränderung der Elastizität und Belastbarkeit (VASSEUR et al. 1985). Histologisch konnten Verlust und chondroide Metaplasien der Ligamentozyten, Verlust der kollagenen Fasern und, in der Kernregion des Bandes, auch der Fibroblasten bei erhaltener Anzahl der Zellen in der Peripherie, gesehen werden (VASSEUR et al. 1985). Diese Beobachtungen deuten auf eine Überbelastung als Ursache für die Degeneration hin. Weitere Faktoren, die hierbei eine Rolle spielen können sind schlechte Durchblutung in der Kernregion (VASSEUR et al. 1985) und immunmedierte Degeneration (NIEBAUER und MENZEL 1982). Auch die extrazelluläre Matrix ist im Zuge der

Degeneration von Modifikationen betroffen. So konnte eine vermehrte Synthese von Glykosaminoglykanen und Kollagen festgestellt werden (COMERFORD et al. 2004). Es wurden außerdem Antikörper gegen Kollagen Typ 1 und 2 in der Synovia erkrankter Gelenke gefunden werden (NIEBAUER und MENZEL 1982, DE ROOSTER et al. 2000). Ob diese immunologischen Vorgänge die Ursache der Degeneration sind oder sekundär dazu auftreten, konnte bisher nicht sicher nachgewiesen werden. Das degenerierte vordere Kreuzband ist zu schwach um einer normalen Belastung standzuhalten bzw. die Belastung ist zu groß für das vordere Kreuzband. Bei Hunden mit einer Körpermasse von > 15 kg konnten diese Veränderungen eher und in stärkerer Ausprägung beobachtet werden als bei Hunden < 15 kg Körpermasse (VASSEUR et al. 1985). Diese Form des vorderen Kreuzbandrisses kommt daher bei Hunden großer Rassen schon in jüngerem Alter vor. Die Ursache und genaue Pathogenese dieser Erkrankung bleiben ungeklärt. Ganganomalien, ein hoher TPA (READ und ROBINS 1982, MORRIS und LIPOWITZ 2001, MACIAS et al. 2002), Adipositas (VASSEUR et al. 1985) sowie schlechte körperliche Fitness werden damit in Verbindung gebracht, jedoch konnte der Zusammenhang nicht bewiesen werden. Eine genetische Grundlage wurde für den Neufundländer (WILKE et al. 2006) und den Boxer (NIELEN et al. 2001) beschrieben.

2.2.3 Auswirkungen

2.2.3.1 Knorpelschäden

Aufgrund der fortschreitenden degenerativen Prozesse, die mit einer Ruptur der vorderen Kreuzbandes im Zusammenhang stehen, sind zum Zeitpunkt der Diagnosestellung in der Regel bereits Schäden des Gelenkknorpels zu verzeichnen (Abbildung 4). Dieser besteht zu ca. zwei % aus Chondrozyten und zu ca. 89 % aus extrazellulärer Matrix, welche mit Hilfe eines Kollagenfasergeflechts die Elastizität garantiert. An der Knorpeloberfläche zeigen diese Kollagenfibrillen bereits eine Woche nach Ruptur des vorderen Kreuzbandes histologische Veränderungen im Sinne einer abweichenden Orientierung und Verschmälerung (ORFORD et al. 1983, STOCKWELL et al. 1983). Fissurlinien werden nach ca. zwei Monaten erkennbar und es findet eine zunehmende Degeneration der Chondrozyten statt (STOCKWELL et al. 1983). Die Stabilität und Elastizität des Knorpels geht verloren und es erfolgt eine vermehrte Belastung des umliegenden Gewebes, wodurch es zur Ausbildung einer Osteoarthritis kommt. Die Ausprägung variiert von Rauigkeiten bis hin zum kompletten Knorpelverlust

(SMITH et al. 2002, LIU et al. 2003). Diesen konnten BRANDT et al. (1991) am Tibiaplateau und an der medialen Femurkondyle nach 54 Monaten beobachten. Die tibiale Gelenkfläche ist hierbei stärker und früher betroffen als die femorale. Diese Beobachtung kann auf den Größenunterschied der belasteten Areale beider Gelenkanteile zurückgeführt werden (BERJON et al. 1991).

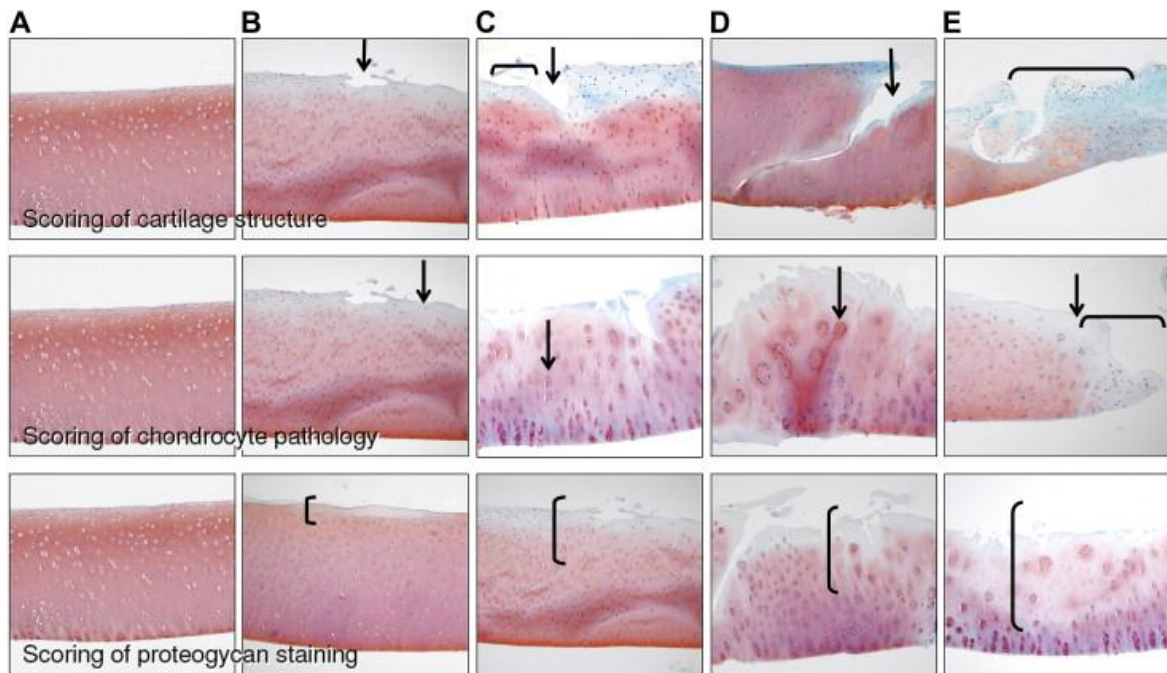


Abbildung 4: Histologische Einteilung von Knorpelschäden im kaninen Kniegelenk aus COOK et al. (2010a)

Kombinationsfärbung aus Safranin-O und Fast-Green zur Darstellung des Gelenkknorpels.

(A) Normale, glatte Oberfläche, alle Zonen intakt

(B) Unregelmäßige Oberfläche mit Fissuren in der im Bereich der oberflächlichen Zone und/oder bindegewebige Zubildung an der Oberfläche

(C) Fissuren bis zur Mittelschicht reichend und/oder Erosion der Oberfläche

(D) Fissuren bis zur unteren Schicht reichend und/oder Erosion bis in die mittlere Schicht reichend

(E) Vollständiger Knorpelverlust in allen Schichten

2.2.3.2 Osteoarthrose

Die Osteoarthrose (Abbildung 5) ist als Folge einer vorderen Kreuzbandruptur unausweichlich (TIRGARI und VAUGHAN 1975). Es handelt sich hierbei um eine Sekundärarthrose, welche aufgrund der kranio-kaudalen Instabilität und damit der damit einhergehenden Veränderung der Biomechanik und Fehlbelastung des Gelenks entsteht (DAVIDSON et al. 1993). Diese Umbauprozesse sind langsam progressiv und irreversibel (BRANDT et al. 1991, LINEBERGER et al. 2005).

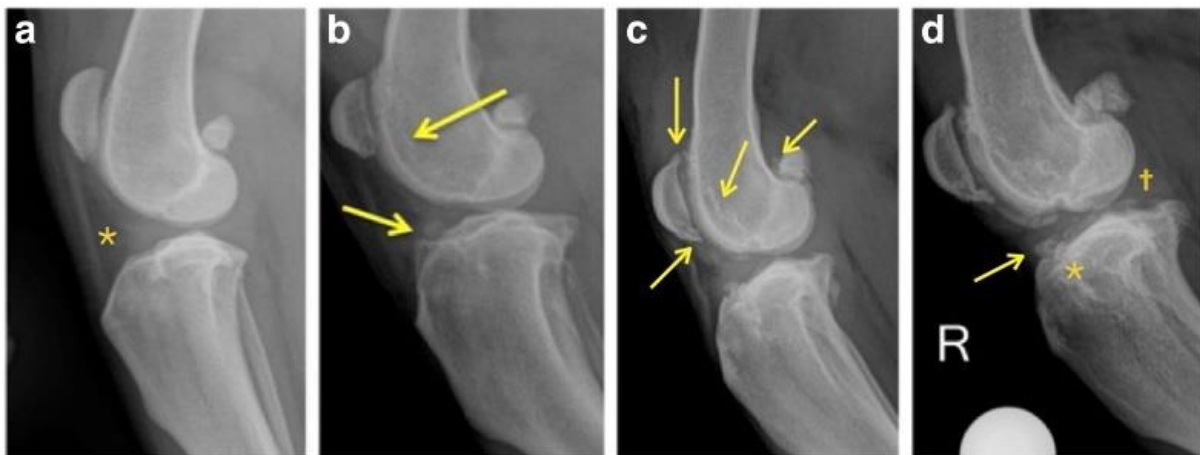


Abbildung 5: Mediolaterale Röntgenaufnahmen der verschiedenen Ausprägungsgrade einer Gonarthrose aus RAMÍREZ-FLORES et al. (2017)

- (a) Initiales Stadium, vermehrter intraartikulärer Weichteilschatten
- (b) Frühe osteophytäre Zubildungen im Bereich des Femurrollkamms und im Bereich der Insertion des Lig. patellae
- (c) Spätere osteophytäre Zubildungen am Apex patellae, der Femurkondylen, dem Femurrollkamm und der Fabellae
- (d) Fortgeschrittenes Stadium, osteophytäre Zubildungen, Enthesophyten, Kalzifizierung der Bänder und Menisken

Auf den fortschreitenden Abrieb des Gelenkknorpels hin erfolgt eine Reaktion des subchondralen Knochens hinsichtlich der Ausbildung einer Sklerose (BELLENGER 1995). Am Ansatz der Gelenkkapsel kommt es zur Proliferation von Bindegewebe, welches über metaplastische Prozesse zu Knorpelgewebe und schließlich über eine enchondrale Ossifikation zu osteophytären Zubildungen umgebildet wird. Diese werden im Bereich des Femurrollkamms „Pommersche Randwülste“ genannt. Nach artifizieller Durchtrennung des vorderen Kreuzbandes konnte die Ausbildung arthrotischer Veränderungen nach drei Wochen beobachtet werden (PAATSAMA und SITNIKOW 1972). Die meisten Patienten zeigen jedoch bereits zum Zeitpunkt der Vorstellung ausgeprägte radiologische Befunde hinsichtlich einer

Gonarthrose. Dies kann auf die häufig vorangegangene konservative Therapie sowie die verspätete Vorstellung der Patienten zurückgeführt werden (JOHNSON et al. 1997). Langfristig findet eine zunehmende Fibrosierung der Gelenkkapsel statt, welche zur Reduktion der kranio-kaudalen Instabilität beiträgt (MARSHALL und OLSSON 1971, TIRGARI 1978). Insgesamt wird die Beweglichkeit des Kniegelenks durch osteophytäre Zubildungen und die Fibrose der Gelenkkapsel eingeschränkt (HEFFRON und CAMPBELL 1979). Hunde großwüchsiger Rassen zeigen eine stärkere Ausprägung der Gonarthrose nach Ruptur des vorderen Kreuzbandes als Hund kleiner Rassen (HEFFRON und CAMPBELL 1979). Das Körpergewicht und der TPA wurden als mögliche Einflussfaktoren auf den Schweregrad der arthrotischen Veränderungen beschrieben (FUJITA et al. 2006). Eine direkte Korrelation von Arthrosegrad und Funktionsstörung des Gelenks konnte von diversen Autoren nicht festgestellt werden (POND und CAMPBELL 1972, HEFFRON und CAMPBELL 1979, GORDON et al. 2003, CONZEMIUS et al. 2005, BOYD et al. 2007, HURLEY et al. 2007, JANDI und SCHULMAN 2007, KIM et al. 2008, VOSS et al. 2008, MORGAN et al. 2010).

2.2.3.3 *Meniskuspathologie*

Meniskusläsionen sind beim Hund meist mit einer Pathologie des vorderen Kreuzbandes verbunden (FLO 1978, BELLENGER 1995). Die Inzidenz dafür liegt bei 33,2 % - 77 % (RALPHS und WHITNEY 2002, CASALE und MCCARTHY 2009). Eine alleinige Meniskuspathologie ist äußerst selten und wurde beim Boxer, bei Sporthunden und zusätzlich bei osteochondralen Läsionen beschrieben (HULSE und JOHNSON 1988, LANGLEY-HOBBS 2001, RIDGE 2006). Im Zusammenhang mit einer Ruptur des vorderen Kreuzbandes tritt häufiger eine Läsion des medialen Meniskus auf (TIRGARI 1978, BENNETT und MAY 1991). Dieser ist über das Lig. tibiale caudale menisci medialis mit der Tibia sowie mit dem Lig. collaterale mediale verbunden, sodass er bei einer kranio-kaudalen Instabilität des Kniegelenks zwischen Femur und Tibia eingeklemmt wird (FLO 1978). Aufgrund der Scherkräfte, die auf die Längs- und Radiärfasern des Meniskus einwirken kommt es vor allem im Kaudalhorn zu Längsrissen des Meniskus (STONE et al. 1980). In-vitro-Studien zeigen, dass das Kaudalhorn bei Kniegelenken mit vorderem Kreuzbandriss als wichtiger Stabilisator fungiert und damit ein höheres Risiko für Verletzungen in diesem Bereich besteht. In einigen Fällen kann das Prolabieren des gerissenen Meniskusanteils als sogenanntes Meniskusklicken hörbar werden (SLOCUM und DEVINE SLOCUM 1993). Radiäre Risse kommen eher im lateralen Meniskus, mit einer Inzidenz von 77 %, vor und liegen meist im axialen Bereich (RALPHS und WHITNEY 2002). Als Ursache

hierfür wird eine Rotations- und Translationsinstabilität vermutet, welche zum temporären Quetschen des Kranialhorns des lateralen Meniskus zwischen dem lateralen Anteil der Eminentia intercondylaris (Tuberculum intercondylare laterale) und der lateralen Femurkondyle führt. Deren klinische Bedeutung ist bisher noch unklar. Meniskuspathologien werden häufig zum Zeitpunkt der Diagnosestellung festgestellt, jedoch können sie auch als postoperative Komplikation nach der Versorgung eines vorderen Kreuzbandrisses auftreten (METELMAN et al. 1995, HOFFMANN et al. 2006, THIEMAN et al. 2006, CASE et al. 2008, CASALE und MCCARTHY 2009). Die Ursache hierfür ist eine anhaltende Instabilität des Kniegelenks nach der Operation. Wird eine Meniskusläsion zum Zeitpunkt der Diagnosestellung übersehen, so kann dies zu einer anhaltenden Lahmheit und Schmerzhaftigkeit führen, sodass eine erneute Operation nötig wird. Die Inzidenz für eine postoperative Meniskusläsion liegt zwischen 2,8 und 17,4 % (METELMAN et al. 1995, CORR und BROWN 2007, LAFAVER et al. 2007, CASE et al. 2008, STEIN und SCHMOEKL 2008, CASALE und MCCARTHY 2009, ERTELT und FEHR 2009, FITZPATRICK und SOLANO 2010). Klinisch werden sie meist in den ersten vier Monaten postoperativ manifest und bedürfen einer erneuten operativen Versorgung. Verschiedene Einflussfaktoren wurden in Bezug auf die Entwicklung einer Meniskuspathologie untersucht. Rasse, Geschlecht und TPA zeigten sich als irrelevant (RALPHS und WHITNEY 2002, GUASTELLA et al. 2008), während Übergewicht und eine chronische komplette vordere Kreuzbandruptur mit einem Meniskusschaden in Zusammenhang gebracht werden konnten (SCAVELLI et al. 1990, BENNETT und MAY 1991, RALPHS und WHITNEY 2002, HAYES et al. 2010).

2.2.4 Diagnosestellung

2.2.4.1 Anamnese

In der Anamnese können schon erste Hinweise auf einen vorderen Kreuzbandriss erfragt werden. Die Besitzer berichten von einer Lahmheit der betroffenen Hintergliedmaße in unterschiedlicher Ausprägung, welche nach längerer Ruhe oder stärkerer Belastung zunimmt. Der Lahmheitsgrad erhöht sich, je stärker die Ruptur des vorderen Kreuzbandes ausgeprägt ist. Bei einer partiellen Ruptur ist das betroffene Kniegelenk noch relativ stabil und die Lahmheit weniger ausgeprägt. Bei einer kompletten Ruptur kann es sogar zu einer vollständigen Entlastung der betroffenen Gliedmaße kommen. Diese hält meist über einige

Tage an und entwickelt sich zu einer mittelgradigen Lahmheit mit einer vorsichtigen Belastung der Hintergliedmaße. Vor allem nach längerer Ruhe oder stärkerer Belastung fällt häufig eine vermehrte Steifigkeit des Gelenks auf.

2.2.4.2 *Klinische Untersuchung*

In der orthopädischen Untersuchung kann eine Dolenz des betroffenen Kniegelenks in Extension und zum Teil auch in Flexion festgestellt werden. Krepitation und ein Klicken werden häufig mit einer Meniskushypothese („Meniskusklick“) in Zusammenhang gebracht. Bei einem chronischen Verlauf der Erkrankung fällt eine deutliche Atrophie der Oberschenkelmuskulatur und eine Verdickung, vor allem medial im Bereich des Kniegelenks („medial buttress“) auf. Es handelt sich hierbei sowohl um fibrotisches Gewebe als auch um Chondro- und Osteophyten. Eine vermehrte Gelenkfüllung kann palpatorisch aufgrund einer schlechten Abgrenzbarkeit des Lig. patellae festgestellt werden. Häufig zeigen die Hunde ein nach außen Strecken der Betroffenen Gliedmaße beim Sitzen, was als positiver Sitztest bezeichnet wird. Der Patient vermeidet damit die komplette Flexion des Knie- und Tarsalgelenks, sodass diese Beobachtung auch bei einer Tarsalgelenkspathologie möglich ist.

2.2.4.2.1 Manipulative Tests

Der wichtigste manipulative Test zur Diagnostik einer vorderen Kreuzbandruptur ist der Schubladentest. Hierbei wird eine kranio-kaudale Translation der Tibia durch Verschieben der Tibia bei Fixation des Femurs ausgelöst. Der Untersucher befindet sich hierbei lateral oder kaudolateral des Patienten. Der Zeigefinger der einen Hand wird auf die Patella gelegt, während der Daumen den Femur im Bereich der Fabelae fixiert. Der Zeigefinger der anderen Hand wird auf der Tuberositas tibiae positioniert und der Daumen umgreift die kaudale Kante der Tibia im Bereich des Fibulakopfes. Die knöchernen Strukturen müssen hierbei gut fixiert werden, da es sonst aufgrund von Weichteilverschieben zu einer fehlerhaften Interpretation des Tests kommen kann. Bei einem Kniegelenkwinkel von 120 - 140° wird die Sagittalbewegung der Tibia bei Verschiebung dieser von kaudal nach kranial beurteilt. Bei jungen Hunden ist eine geringe Beweglichkeit, die einen akuten Stopp kranial und kaudal aufweist („puppy drawer“) als physiologisch zu betrachten. Bei einem diffusen Stopp kann eine Kreuzbandpathologie auch bei einem jungen Hund vermutet werden, während bei einem ausgewachsenen Hund jegliche vermehrte Beweglichkeit als pathologisch zu betrachten ist. Hunde, die eine ausgeprägte Muskelatrophie im Bereich der Hintergliedmaßen zeigen können

ebenfalls eine geringfügige Beweglichkeit aufweisen. Um diese von einer Kreuzbandpathologie zu unterscheiden, wird auf ein abruptes Stoppen nach ca. 1 - 3 mm Bewegung geachtet. Dieses ist nur bei einem intakten vorderen Kreuzband zu verzeichnen. Der Test sollte in unterschiedlichen Positionen des Kniegelenks, also in Streckung und Beugung, durchgeführt werden. Bei maximaler Extension stehen die Kollateralbänder des Kniegelenks unter großer Spannung, sodass die Schubladenbewegung in dieser Position vermindert oder sogar negativ sein kann.

Der Tibiakompressionstest ist ein weiterer Test zur Beurteilung der kranio-kaudalen Instabilität. Bei diesem Test übt der Untersucher Kompression auf das Kniegelenk aus, was in einem kranialen Tibiaschub resultiert. Der Untersucher befindet sich zur Durchführung des Tests ebenfalls lateral bzw. kaudolateral des Patienten, welcher im Stand oder in Seitenlage untersucht wird. Der Zeigefinger der einen Hand wird über die Patella auf die Tuberositas tibiae abgelegt. Die Handfläche und restlichen Finger der Hand greifen die Femurkondylen und halten das Gelenk in Extension. Die andere Hand greift den Metatarsus und beugt und streckt abwechselnd das Tarsalgelenk. Dies stimuliert die Kontraktion des M. gastrocnemius und damit die Spannsägenkonstruktion des Kniegelenks. Die kranio-kaudale Beweglichkeit der Tibia wird mit dem Zeigefinger auf der Tuberositas tibiae palpatorisch und visuell beurteilt. Ist eine Beweglichkeit vorhanden, so ist diese hinweisend für einen vorderen Kreuzbandriss. Die Ausführung des Schubladentests und des Tibiakompressionstests sind in Abbildung 6 schematisch dargestellt.

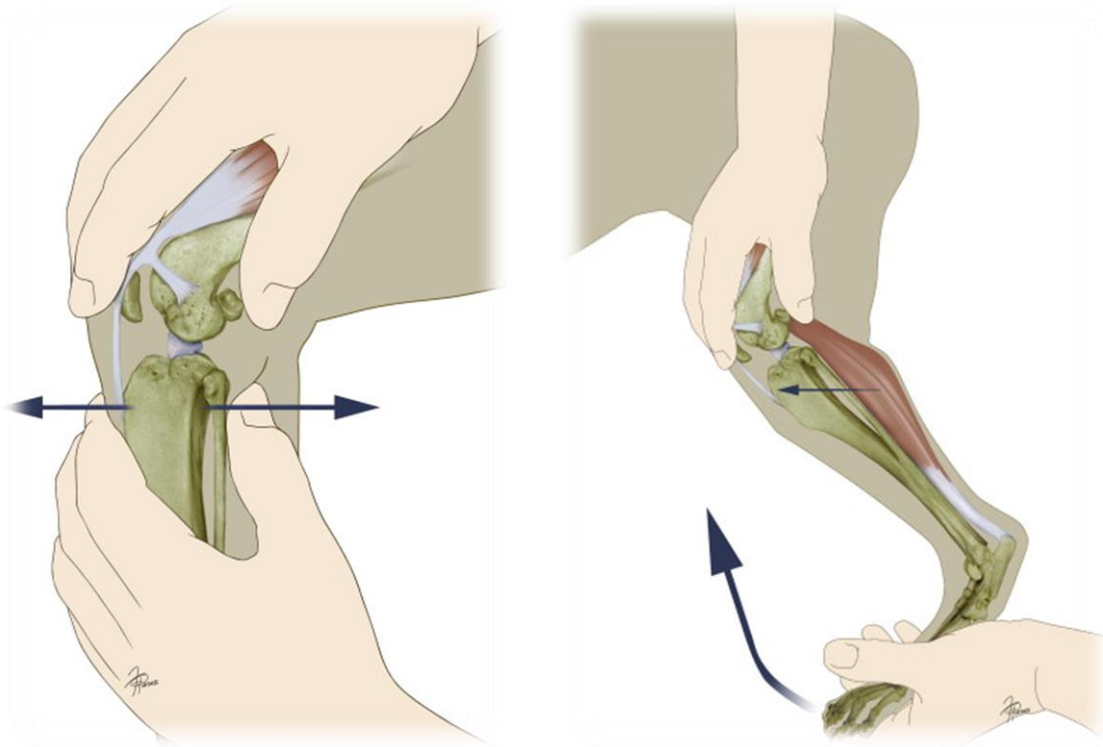


Abbildung 6: Durchführung des Schubladentests (links) und Tibiakompressionstests (rechts)
aus CANAPP (2007).

2.2.4.3 Bildgebende Verfahren

2.2.4.3.1 Röntgendiagnostik

Zur Unterstützung der klinischen Verdachtsdiagnose einer Kreuzbandpathologie ist die Röntgendiagnostik unabdingbar. Radiologisch manifestiert sich diese in einer Gonarthrose mit osteophytären Zubildungen an den typischen Lokalisationen – Femurrollkamm, kraniales und kaudales Tibiaplateau, Fabellae und Patellaspitze. Bereits frühzeitig kann in der mediolateralen Projektion ein vermehrter Weichteilschatten kranial und kaudal im Gelenk, im Sinne einer vermehrten Kniegelenksfüllung, gesehen werden (WIDMER et al. 1994). Eine weitere frühzeitig auftretende Veränderung ist ein Osteophyt bzw. Enthesiophyt im Bereich der Ansatzstelle des vorderen Kreuzbandes, der Area intercondylaris cranialis der proximalen Tibia, ebenfalls in der mediolateralen Projektion sichtbar (WIDMER et al. 1994). Im Bereich des Ursprungsgebiets des M. extensor digitorum longus kann es ebenfalls zu vermehrter Sklerose oder osteophytären Zubildungen kommen.

2.2.4.3.2 Nicht-invasive bildgebende Verfahren

Als nicht-invasive bildgebende Verfahren sind die Sonografie des Kniegelenks und die Magnetresonanztomografie beschrieben (MAHN et al. 2005, WINEGARDNER et al. 2007, BLOND et al. 2008). Eine Hyperintensität des Knochenmarks in der Magnetresonanztomografie wird als Zeichen akuter traumatischer Mikrofrakturen ohne Läsionen im Bereich des Gelenkknorpels oder der Kortikalis gesehen (WINEGARDNER et al. 2007). Bei etwa 75 % der humanmedizinischen Patienten mit einer akuten vorderen Kreuzbandruptur werden diese Veränderungen in fettunterdrückten Sequenzen an klassischen Lokalisationen von Femur und Tibia gesehen. Eben solche Läsionen wurden bei Hunden mit Kniegelenkslahmheiten gefunden, allerdings zeigte sich keine Spezifität für den vorderen Kreuzbandriss (WINEGARDNER et al. 2007). Für die Diagnostik einer Meniskuspathologie hat sich die Magnetresonanztomografie mit einer Sensitivität von 100 % und einer Spezifität von 94 % in einer kleinen Fallzahl als nützlich erwiesen (BLOND et al. 2008). Vergleicht man die Sensitivität und Spezifität der Sonografie zur Diagnostik einer Meniskuspathologie mit der der Arthroskopie so liegen diese bei 90,0 % und 92,9 % (MAHN et al. 2005). Sowohl die Magnetresonanztomografie als auch die Sonografie zur Diagnostik am Kniegelenk erfordern spezielles Equipment und einen geübten Untersucher (MAHN et al. 2005). Beide Techniken scheinen untersucherabhängig zu sein. So konnten in verschiedenen Studien unterschiedliche Anteile der Menisken gesehen bzw. nicht gesehen werden (REED et al. 1995, KRAMER et al. 1999). Die Arthroskopie und Palpation der intraartikulären Strukturen sollte daher diesen bildgebenden Verfahren vorgezogen werden.

2.2.4.4 Arthroskopie

Die Arthroskopie des Kniegelenks stellt eine minimalinvasive Technik zur Beurteilung der Synovialmembran, des Gelenkknorpels, der Menisken und der Kreuzbänder dar, die mit einer geringen Morbidität verbunden ist. Durch die starke Vergrößerung und die Möglichkeit der Palpation der intraartikulären Strukturen ist sie der Goldstandard zur Beurteilung des Kniegelenks (POZZI et al. 2008a, ERTELT und FEHR 2009). Da die minimalinvasive Behandlung verschiedener Läsionen zugleich mit der Diagnostik durchgeführt werden kann, ist die Arthroskopie nicht-invasiver diagnostischer Verfahren in den meisten Fällen vorzuziehen. Die Sensitivität der Beurteilung des medialen Meniskus konnte mit Hilfe der Palpation im Vergleich zur reinen visuellen Beurteilung von 37 % auf 83 % und die Spezifität von 84 % auf 96 % angehoben werden (POZZI et al. 2008a). Eine bessere Übersicht im Gelenk und damit

eine höhere Genauigkeit für die Diagnostik einer Meniskuspathologie kann zusätzlich mit einem Kniegelenkdistraktor erzielt werden (BÖTTCHER et al. 2009, GEMMILL und FARRELL 2009). Je nach Fortschritt der Erkrankung können unterschiedliche Befunde erhoben werden. Bei einem beginnenden, partiellen Kreuzbandriss geht die Integrität der Fasern verloren, das Band erscheint homogen, ödematös und ohne Spannung. Bei fortschreitender Erkrankung kommt es zum Reißen der Kreuzbandfasern und somit zu einer zunehmenden Lockerheit der übrigen Fasern. Mit der folgenden Osteoarthrose gehen Synovialitis, Knorpelschäden und Meniskusläsionen einher (Abbildung 7). Die genaue Operationstechnik wird unter Tiere und Methoden, Kapitel 3.2.5.1 genauer beschrieben.

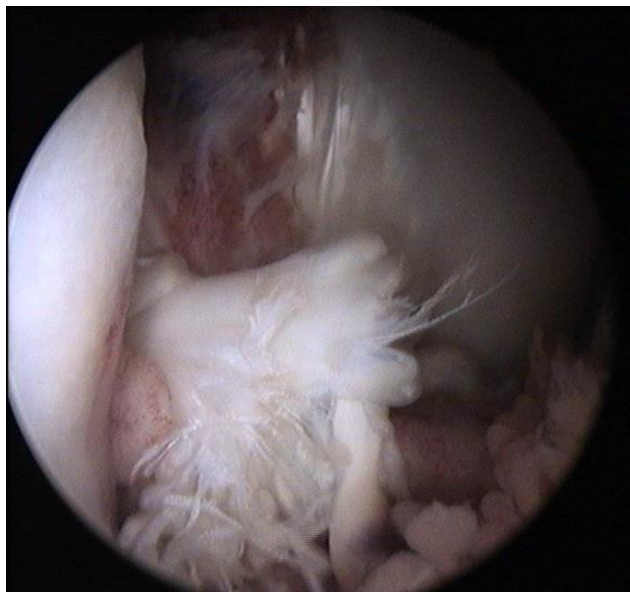


Abbildung 7: Arthroskopisches Bild einer vollständigen Ruptur des vorderen Kreuzbandes
Die deutliche Synovialitis sowie chronisch-degenerativ abgerundete Bandreste sind erkennbar.

2.2.4.5 Arthrotomie

Obwohl die Arthroskopie als Goldstandard zur Diagnostik einer Meniskuspathologie betrachtet wird (RALPHS und WHITNEY 2002, MAHN et al. 2005), wird die Arthrotomie nach wie vor häufig durchgeführt. Das Auffinden eines Meniskusrisses wird durch die Palpation der intraartikulären Strukturen deutlich erleichtert. Die Möglichkeit der richtigen Diagnosestellung wird durch die Palpation bis zu achtfach erhöht (POZZI et al. 2008a). Für das Auffinden und die Klassifizierung einer Pathologie des medialen Meniskus eignet sich eine kraniomediale Arthrotomie bei einem Kniegelenk mit vorderer Kreuzbandruptur und eine kaudomediale Arthrotomie eher für Gelenke mit Teilrissen oder intaktem vorderen Kreuzband.

(POZZI et al. 2008a). Auch hier kann die Exploration des Kniegelenks durch einen Kniegelenksdistraktor optimiert werden (BÖTTCHER et al. 2009). Bei Distraction des Gelenks und Subluxation der Tibia wird das Kaudalhorn des medialen Meniskus besser darstellbar und die Diagnostik und Therapie eines Meniskusrisses erleichtert.

2.2.5 Therapiemöglichkeiten

2.2.5.1 *Konservative Therapiemöglichkeiten*

Da die operative Versorgung bessere Ergebnisse erzielt (DE MEDEIROS et al. 2011, BÖDDEKER et al. 2012, WUCHERER et al. 2013), stellt die konservative Therapie nicht das Mittel der Wahl zur Behandlung des vorderen Kreuzbandrisses beim Hund dar. Es kommt aufgrund der anhaltenden Kniegelenksinstabilität zur progressiven Gonarthrose (CHAUVET et al. 1996) sowie zu Meniskuspathologien (HAYES et al. 2010) kommen. Die konservative Therapie ist somit Patienten vorbehalten, bei denen eine operative Versorgung aufgrund des konditionellen oder konstitutionellen Zustandes oder aus sonstigen Gründen nicht möglich ist. Bei der Therapie sollte der Patient für mindestens vier bis sechs Wochen streng ruhiggehalten werden, es sollte eine Reduktion des Körpergewichts bei adipösen Tieren erfolgen und zusätzlich nicht steroidale Antiphlogistika zur Analgesie und Chondroprotektiva verabreicht werden (VASSEUR et al. 1987, COMERFORD et al. 2013). Bei kleinwüchsigen Hunderassen wird die konservative Therapie trotz schlechterer Ergebnisse unter besonderen Umständen noch durchgeführt (COMERFORD et al. 2011). Bereits nach zwei Monaten kann eine zufriedenstellende Funktionalität der betroffenen Gliedmaße wieder hergestellt werden (POND und CAMPBELL 1972). Bei Hunden großer Rassen sowie Arbeitshunden kann kein zufriedenstellendes Ergebnis erzielt werden, sodass hier zur operativen Versorgung geraten werden muss (POND und CAMPBELL 1972). Es zeigte sich außerdem, dass konservativ behandelte Patienten unabhängig von ihrem Körpergewicht signifikant schlechtere klinische, radiologische und ganganalytische Ergebnisse zeigten als operativ mit einem lateralen Fadenzügel versorgte Hunde (CHAUVET et al. 1996).

2.2.5.2 *Chirurgische Therapiemöglichkeiten*

2.2.5.2.1 Intraartikuläre Operationsmethoden

Der intraartikuläre Bandersatz kann mit autologen Geweben, mit anderen biologischen, aber auch mit synthetischen oder halbsynthetischen Materialien durchgeführt werden. Zum

Zeitpunkt der Implantation in das Gelenk sind diese Gewebe avaskulär und benötigen etwa 20 Wochen bis zur vollständigen Revaskularisierung und Inkorporation (ALM und STROMBERG 1974, ARNOCKY et al. 1982). Initial erfolgt eine inflammatorische Phase mit einhergehender Nekrose. Es schließen sich die Revaskularisierung und Proliferation der Zellen an bis es zum Abschluss des Umbauprozesses kommt (FU et al. 2009). Zum Zeitpunkt der Nekrotisierung ist mit einer Materialschwäche des Transplantats zu rechnen (CLANCY et al. 1981, ARNOCKY et al. 1982). Patellarsehnentransplantate mit erhaltener Blutgefäßversorgung wurden ebenfalls für den Ersatz des vorderen Kreuzbandes beschrieben (BOUDRIEU et al. 1985), jedoch konnte keine erhöhte Festigkeit des Transplantates beobachtet werden (BUTLER et al. 1989). Die Voraussetzungen für den optimalen Bandersatz sind eine möglichst hohe anatomische und biomechanische Ähnlichkeit mit der Struktur des vorderen Kreuzbandes, aber auch eine sichere Fixation und zuverlässige Integration in das Gelenk (WEST und HARNER 2005). Die verschiedenen Bandersatzmaterialien können folgendermaßen eingeteilt werden: Autografts (körpereigene Transplantate wie Patellarsehne oder Faszienstreifen der Mm. semitendinosus, gracilis oder quadriceps femoris), Allografts (Transplantate von Spendertieren aller oben genannter Materialien einschließlich der Achillessehne) und synthetische Materialien (Carbon, Gore-Tex, Dacron, Seide, sowie sogenannte „Ligament Augmentation Devices“ aus Polyester oder Polyethylenterephthalat zur Unterstützung der Festigkeit eines Transplantates).

2.2.5.2.1.1 Die Patellarsehne

Das Lig. patellae wurde erstmals 1980 als Bandersatz für das vordere Kreuzband in der Humanmedizin beschrieben und seither erfolgreich eingesetzt (HOSPODAR und MILLER 2009). Hierbei wird ein Teil des Lig. patellae inklusive seiner knöchernen Absatzpunkte an Patella und Tibia als körpereigenes Transplantat verwendet. Die knöchernen Enden werden über Knochentunnel mit Hilfe von Schrauben befestigt. Besonders vorteilhaft sind hierbei die verhältnismäßig kurze Heilungsphase des Knochens (sechs bis acht Wochen) und die unmittelbar erzielte Festigkeit, was zu einer schnelleren Belastungsfähigkeit des Gelenks führt. Bei voller sportlicher Belastung beklagen die Patienten jedoch weiterhin Schmerzen im vorderen Kniegelenksbereich. Beim Hund ist diese Methode bisher klinisch noch nicht beschrieben. In der Veterinärmedizin wurde die Verwendung eines Anteils der Patellarsehne ohne die knöchernen Anteile als optimales Transplantat angesehen, da diese eine hohe Belastbarkeit ähnlich der des gesunden vorderen Kreuzbandes aufweisen sollte (BUTLER et al.

1979). Diese Hypothese konnte jedoch in einer experimentellen Studie widerlegt werden (JOHNSON et al. 1989). Die Befestigung des Transplantates scheint ebenfalls eine große Rolle für den Therapieerfolg zu spielen. Aufgrund der anatomischen Gegebenheiten kann der exakte Befestigungspunkt an der Femurkondyle beim Hund weniger leicht identifiziert werden als beim Menschen. Ein speziell hierfür angefertigtes Zielgerät wurde bereits beschrieben, jedoch noch nicht klinisch eingesetzt (BOLIA und BÖTTCHER 2015). Bei der sogenannten „Over the top“-Methode wird meist das mittlere oder laterale Drittel der Patellarsehne verwendet, da dieser Anteil eine größere Festigkeit aufweist und leichter zu mobilisieren ist (JOHNSON et al. 1989). Die Insertion dieses Anteils an der Tuberositas tibiae wird belassen und der Sehnenstreifen durch das Gelenk und über die laterale Femurkondyle gezogen (STRANDE 1967, ARNOCZKY 1979).

2.2.5.2.1.2 Der Faszienstreifen

Die in der Humanmedizin am häufigsten für diese Bandersatztechnik verwendeten Faszien stammen von M. semitendinosus, M. gracilis und M. quadriceps femoris. Diese werden zur Erhöhung der Stabilität häufig gedoppelt angewendet. Sie werden ebenfalls mit Schrauben über Knochentunnel im Gelenk fixiert. Da sich hier Knochen mit Weichteilgewebe verbindet, erfolgt die Einheilung des Transplantates langsamer. Die Langzeitergebnisse sind jedoch mit denen der Patellarsehnenmethode vergleichbar. Diese humanmedizinische Methode ist beim Hund aufgrund des relativen Größenunterschiedes der Sehnen der genannten Muskeln im Vergleich zum Menschen nicht durchführbar. Es wird meist eine Kombination aus Patellarsehne und Fascia lata oder eine der genannten Strukturen allein verwendet. Auch hier kommt die „Over the top“-Methode zum Einsatz. Der Schwachpunkt dieser Operationstechnik stellt die Länge und damit erhöhte Dehnbarkeit des Faszienstreifens dar, sodass es postoperativ zu einer weiterhin bestehenden oder erneuten Gelenkinstabilität kommen kann. Eine Modifikation dieser Technik, „Under and over“-Technik genannt, ist ebenfalls beschrieben. Dabei wird der laterale Anteil der Fascia lata sowie des Lig. patellae vom Apex patellae ausgehend verwendet, unterhalb des Lig. transversum genus durchgezogen und wie bei der „over the top“-Methode fixiert (HULSE et al. 1980, SHIRES 1984). Zahlreiche weitere Variationen wurden beschrieben, wobei vor allem der femorale Fixationspunkt eine besonders wichtige Rolle spielt, damit eine isometrische Position des Transplantates erreicht wird (ARNOCZKY 1979, DENNY und BARR 1984, MELHORN und HENNING 1987, MITTON et al. 1991). Mit vielen dieser Techniken wurde eine erfolgreiche Rekonstruktion des vorderen

Kreuzbandes beschrieben (PAATSAMA 1952, DUELAND 1966, STRANDE 1967, KNECHT 1976, DICKINSON und NUNAMAKER 1977, ARNOCZKY 1979, SHIRES 1984), jedoch liegen keine Langzeitstudien hierzu vor.

2.2.5.2.1.3 Synthetische Bandersatzmethoden

Synthetische Materialien können zum Ersatz des vorderen Kreuzbandes als Prothesen eingesetzt werden, welche nicht einheilen können. Aufgrund dessen sind diese für schleichenden Materialverschleiß über längere Zeit anfällig. Der Einsatz verschiedener synthetische Stoffe wie Karbonfasern, Gore-Tex und Dacron in der Humanmedizin ist beschrieben. Carbon ist besonders anfällig für Torsionskräfte, sodass es vermehrt zum Abrieb und Einlagerung von Karbonpartikeln in Organe wie die Leber sowie zur lokalen Synovialitis kam. Ähnliche Effekte konnten bei dem Material Gore-Tex beobachtet werden. Hier kam es durch abgeriebene Polytetrafluorethylen-Partikel ebenfalls zu einer Synovialitis, sodass der Gore-Tex-Bandersatz im Jahr 1993 vom Markt genommen wurde. Die Wahrscheinlichkeit für ein Implantatversagen beim Material Dacron lag bei 30 - 60 %, sodass auch dieses im Jahr 1994 vom Markt genommen wurde. In der Humanmedizin zeigte sich für alle Materialien ein ähnliches Verhalten (FREEMAN und KWANSA 2008, LEGNANI et al. 2010). Weiterhin können synthetische Materialien zur Unterstützung eines biologischen Transplantates eingesetzt werden. Sie kommen zu Beginn der Einheilungsphase zum Einsatz. 1975 wurde ein solches geflochtenes Polypropylenband in der Humanmedizin erstmals vorgestellt. Es sollte in Kombination mit einem Autograft und zum Schutz dessen eingesetzt werden. Aufgrund der unterschiedlichen Eigenschaften des synthetischen und biologischen Materials kam es jedoch zur Elongation bzw. zum Versagen des synthetischen Bandes und damit zur plötzlichen Überbelastung des biologischen Transplantates. Diese Verfahren werden in der Humanmedizin daher ebenfalls nicht mehr verwendet (FREEMAN und KWANSA 2008, LEGNANI et al. 2010). Weiterhin ist die Nutzung synthetischer Stoffe als Gerüst mit einer porösen Struktur zur Unterstützung und sogar Verbesserung der Einheilung eines biologischen Transplantates möglich. Diese bestehen aus resorbierbarem Material, sodass eine schrittweise Übertragung der Belastungskraft auf das Transplantat und damit eine Optimierung des Umbaus erzielt wird. Erstmals wurde ein solches Gerüst im Jahr 1982 in der Humanmedizin präsentiert. Es handelte sich um ein geflochtenes, tubuläres Polyesterband mit einem Durchmesser von 10 mm. Dieses übernahm jedoch den größeren Anteil der Last im Gelenk, sodass das neu geformte Band nicht stark genug ausgebildet wurde und es bei über

einem Drittel der Patienten zum Materialversagen kam. In den 1990er Jahren wurden von den synthetischen Bandersatzmethoden in der Humanmedizin abgesehen. Im Jahr 2000 wurde ein neues Modell aus Polyethylenterephthalat auf den Markt gebracht, welches strukturell ein Einwachsen eines biologischen Transplantates im Gelenksbereich begünstigt. Die ersten Ergebnisse zeigen sich vielversprechend, Langzeitergebnisse stehen noch aus. Aktuell liegt der Fokus auf der sogenannten Bioverfahrenstechnik, bei der ein Implantat ähnlich des früheren Gerüsts jedoch beschichtet mit Stammzellen, zum Einsatz kommt, welche die Belastungseigenschaften eines gesunden vorderen Kreuzbandes aufweisen. Das Gerüst wird nach und nach schwächer, sodass eine stetige Belastung des neu geformten Bandes stattfindet, welches dadurch sukzessive an Festigkeit gewinnt. Vielversprechende Resultate sind für das Material Seide bekannt (FAN et al. 2009, RICHMOND und WEITZEL 2010). Da das optimale Material für den synthetischen Bandersatz bisher nicht gefunden wurde, werden die intraartikulären Bandersatzmethoden in der Veterinärmedizin kaum noch angewendet (COMERFORD et al. 2011).

2.2.5.2.2 Extraartikuläre Operationsmethoden

Das Ziel der extraartikulären Operationsmethoden, bei denen das vordere Kreuzband imitiert wird, ist eine mittel- bis langfristige Stabilisierung des Kniegelenks über eine ausgeprägte extraartikuläre Fibrosierung (ROE et al. 2008). Zahlreiche Varianten wurden beschrieben (CHILDERS 1966, DEANGELIS und LAU 1970, FLO 1975, GAMBARDELLA 1981, SMITH und TORG 1985). Die laterale Fadenzügelung modifiziert nach Flo wird am häufigsten angewendet (LEIGHTON 1999). Klinisch zeigten sich bei einigen dieser Methoden gute bis sehr gute Ergebnisse, welche mit denen der Umstellungsosteotomien vergleichbar waren (LAZAR et al. 2005, AU et al. 2010, COOK et al. 2010, SNOW et al. 2010, BÖDDEKER et al. 2012, CHRISTOPHER et al. 2013). Aktuelle Studien zeigen mit Hilfe der Kraftplatten-Ganganalyse ein deutlich schlechteres Langzeitergebnis im Vergleich zu den dynamischen Methoden (GORDON-EVANS et al. 2013, NELSON et al. 2013). Die Gesamtkomplikationsrate der extraartikulären Verfahren ist gering (CASALE und MCCARTHY 2009, COOK et al. 2010), wobei hiervon eher junge und schwere Tiere betroffen sind (CASALE und MCCARTHY 2009).

2.2.5.2.2.1 Raffung der Gelenkkapsel und Faszienopplung

Bei der Kapsuloraphie werden das periartikuläre Weichteilgewebe und die Gelenkkapsel gerafft (CHILDERS 1966). Die klinische Erfolgsrate wurde für 72 % der Fälle als gut bis sehr gut beschrieben (WEISS 1990). Zur zusätzlichen Stabilität kann eine sogenannte Faszienopplung

dienen. Im Vergleich mit der TPLO konnte anhand einer computergestützten Ganganalyse vier Monate nach der operativen Versorgung eine deutlich schlechtere Gliedmaßenfunktion und spätere Belastung der Gliedmaße nach Fasziendopplung ermittelt werden (BÖDDEKER et al. 2012)

2.2.5.2.2 Extrakapsuläre Fadenzügelmethoden

Auf der Basis der von DEANGELIS und LAU im Jahr 1970 beschriebenen Technik wurden zahlreiche unterschiedliche Fadenzügelmethoden entwickelt (Abbildung 8). Bei dieser Technik wird ein nicht-resorbierbares Nahtmaterial um die laterale Fabella und durch den distalen Anteil des Lig. patellae geführt.

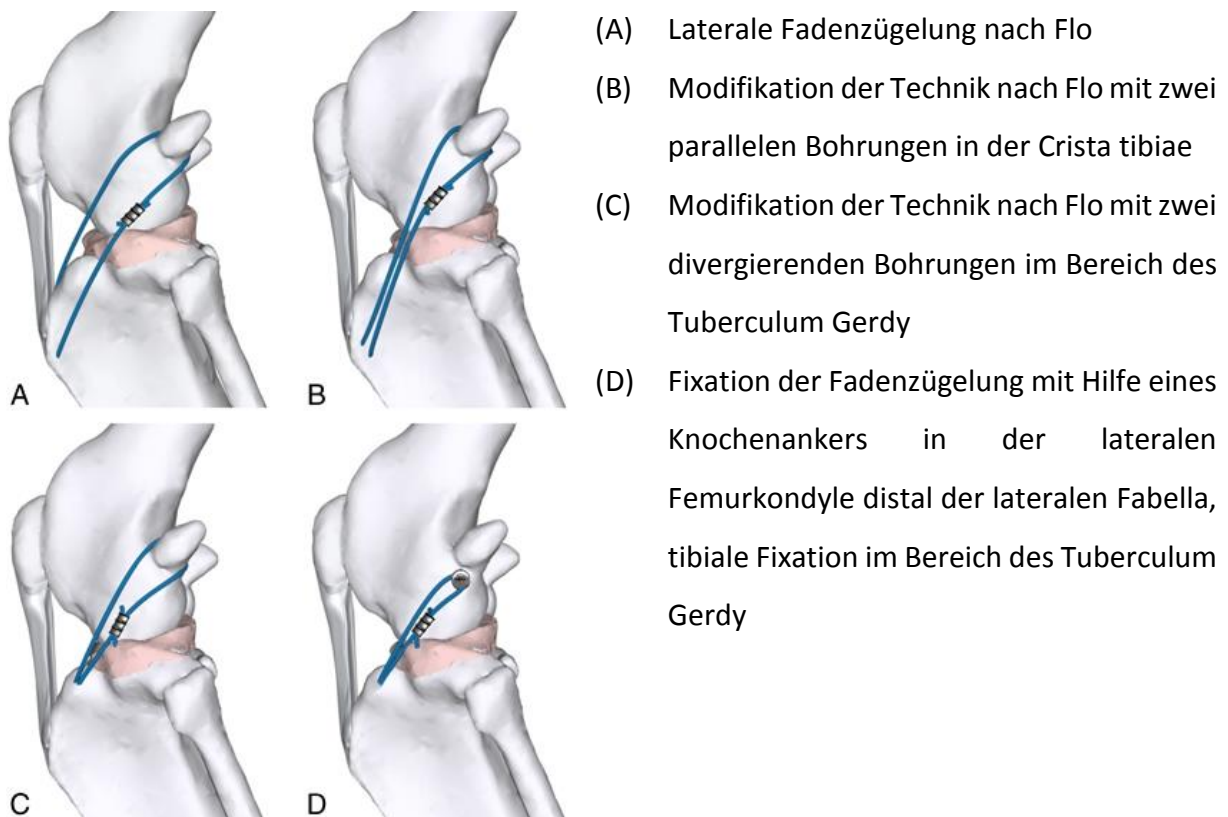


Abbildung 8: Verschiedene Techniken der lateralen Fadenzügelung
aus FISCHER et al. (2010)

Die Autoren konnten bei 86 % der Patienten ein zufriedenstellendes Ergebnis erzielen, wobei eine geringgradige Lahmheit als zufriedenstellend angesehen wurde. Eine Modifikation stellt die Technik von GAMBARDILLA et al. aus dem Jahr 1981 dar. Hierbei wird auf die gleiche Weise ein nicht-resorbierbares Nahtmaterial positioniert, welches durch zwei weitere Fadenzügel zwischen dem Lig. collaterale laterale und dem distalen Anteil des Lig. patellae

unterstützt wird. Bei allen operierten Patienten konnten die Autoren ein positives Ergebnis verzeichnen. Bei der Operationsmethode nach FLO (1975) wird das Nahtmaterial durch einen Bohrkanal im Bereich der Tuberositas tibiae geführt, um eine rigidere Fixation zu erzielen. Beim sogenannten „Three in one procedure“ wird der Faden kaudolateral geknotet und ein zusätzlicher Fadenzügel von der lateralen Fabella entlang des Lig. femoropatellare laterale geführt, welcher zusätzliche Stabilität bieten soll.

Die Position des eingebrachten Bandes spielt hinsichtlich dessen Isometrie und der damit assoziierten Kniegelenksstabilität eine entscheidende Rolle. Die Implantate sollten in der Art und Weise verlaufen, dass bei Extension und Flexion des Gelenks ein möglichst minimaler Längenunterschied zu verzeichnen ist (ROE et al. 2008, FISCHER et al. 2010). Eine Position, die eine vollständige Isometrie des Implantates bewirkt konnte bisher nicht identifiziert werden. Als annähernd ideale Fixationspunkte wurden der Kaudalrand der lateralen Femurkondyle auf Höhe des distalen Pol der naheliegenden Fabella und der Punkt unmittelbar kranial des M. extensor digitorum longus an der Tibia beschrieben (ROE et al. 2008). Die Fixation des Implantates bei einer Beugung des Kniegelenks von 100° wird empfohlen, da so der bestmögliche Kompromiss zwischen positiver und negativer Belastung erreicht wird (FISCHER et al. 2010). Eine postoperative Lockerung des Fadenzügel-Implantates bereits nach wenigen Bewegungszyklen und das Risiko einer damit einhergehenden Schädigung des medialen Meniskus, insbesondere am Kaudalhorn, ist gegeben (BÖTTCHER et al. 2010).

2.2.5.2.2.3 Fibulakopftransposition

Eine weitere extraartikuläre Operationsmethode zur Therapie der vorderen Kreuzbandruptur stellt die Fibulakopftransposition dar (SMITH und TORG 1985). Das Lig. collaterale laterale wird hierbei mit dem Fibulakopf nachkranial verlagert, um den vorderen Tibiaschub und die Innenrotation der Tibia zu verhindern. Der Fibulakopf wird entweder mit Kirschner-Bohrdrähten oder einer Schraube und Cerclagedraht an der Tibia fixiert. Das Lig. collaterale laterale zeigt im Anschluss einen kranialen Verlauf, der dem des vorderen Kreuzbandes ähnelt. Es wurden einerseits gute Ergebnisse bei bis zu 90 % der Patienten beschrieben (SMITH und TORG 1985). Eine andere Studie zeigt, dass das laterale Kollateralband als Stabilisator des Kniegelenks nicht ausreichend ist (DUPIUS et al. 1992). Bezüglich der Zufriedenheit der Patientenbesitzer konnte kein Unterschied zur konservativen Therapie festgestellt werden (CHAUVET et al. 1996). Zudem wurden bei 25 % der mit dieser Technik versorgten Patienten

vier Monate und bei 50 % zehn Monate post operationem ein Meniskusschaden festgestellt (DUPUIS et al. 1994).

2.2.5.2.2.4 Tight Rope

Bei der im Jahr 2009 entwickelten Tight Rope-Technik wird ein synthetisches, geflochtenes Fadenmaterial über Bohrkanäle in Femur und Tibia unter besonderer Berücksichtigung der isometrischen Punkte des Gelenks eingesetzt. Dieses wird mit Hilfe spezieller Unterlegscheiben (washer plates) medial gestrafft und fixiert (COOK et al. 2010). Diese Operationsmethode weist laut COOK et al. (2010) eine geringe Komplikationsrate von 12,5 % auf und erzielte mit der TPLO vergleichbare gute Ergebnisse. In der Studie von CHRISTOPHER et al. (2013) zeigte sich bezüglich der Gliedmaßenfunktion und der Arthroseprogression eine Erfolgsrate von 92,7 % nach einem Jahr. Die Tight-Rope-Technik übertraf die Erfolgsrate der TTA (89,2 %) und wies ein deutlich geringeres Risiko für schwerwiegende postoperative Komplikationen auf (CHRISTOPHER et al. 2013).

2.2.5.2.3 Dynamische Operationsmethoden

2.2.5.2.3.1 CTWO

Die Cranial Tibial Wedge Osteotomy (CTWO) wurde erstmals im Jahr 1984 beschrieben und ist somit die erste Therapiemethode für den vorderen Kreuzbandriss des Hundes bei der eine Umstellungsosteotomie der Tibia vorgenommen wird (SLOCUM und DEVINE 1984). Die Methode beruht auf einer kranioproximalen Keilosteotomie der Tibia zur Reduktion des TPA auf 5° - 6,5° (Abbildung 9). Der vordere Tibiaschub soll dadurch in der Belastungsphase über die Muskulatur kompensiert werden. Mit einer Modifikation dieser Technik konnten gute klinische Ergebnisse in bis zu 97 % der Fälle bei einer Komplikationsrate von 9,5 % erzielt werden (OXLEY et al. 2013).

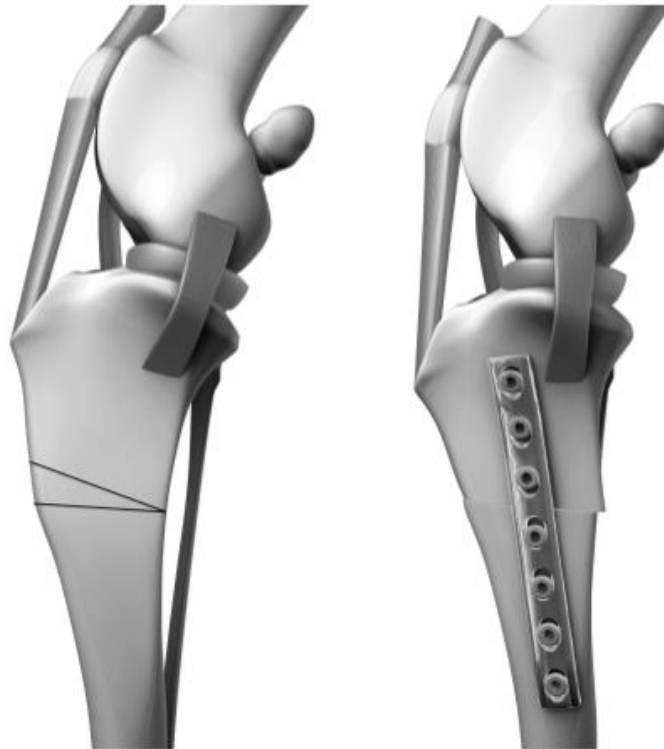


Abbildung 9: Die Cranial Tibial Wedge Osteotomy (CTWO) aus KIM et al. (2008)

Die Abbildung zeigt die Schnittführung für die kraniale Keilosteotomie der Tibia sowie das postoperative Bild nach Fixation mit einer Platte und entsprechenden Schrauben.

2.2.5.2.3.2 TPLO

Im Jahr 1993 wurde die Tibial Plateau Leveling Osteotomy (TPLO) vorgestellt (SLOCUM und DEVINE SLOCUM 1993). Sie galt bereits einige Jahre später als eine der am häufigsten durchgeführten Operationsmethoden zur Versorgung des kranialen Kreuzbandrisses beim Hund (LEIGHTON 1999). Die Technik konnte aus zahlreichen Studien positiv hervortreten mit beschriebenen Erfolgsraten, je nach Untersuchungsaufbau, bei ca. 90 % (SLOCUM und DEVINE SLOCUM 1993, BALLAGAS et al. 2004, RAYWARD et al. 2004, BOYD et al. 2007, AU et al. 2010, DE MEDEIROS et al. 2011, IMHOLT et al. 2011, NELSON et al. 2013). Auf die TPLO wird im Folgenden genauer eingegangen.

2.2.5.2.3.3 TTA

Auf einem anderen Prinzip beruht die erstmals im Jahr 2002 beschriebene Tibial Tuberosity Advancement Technik (TTA) (MONTAVON et al. 2002). Mit Hilfe einer Verlagerung der Christa tibiae nach kranial sollen femorotibialen Scherkräfte neutralisiert werden. Dabei wird ein sogenannter Patellarsehnenwinkel (Patellar Tendon Angle) von 90° zwischen dem Lig. patellae und dem Tibiaplateau angestrebt. Obwohl eine hohe Rate bedeutender Komplikationen mit

einer Rate von bis zu 38,9 % beschrieben ist (CHRISTOPHER et al. 2013, MACDONALD et al. 2013), konnten gute klinische Ergebnisse erzielt werden (HOFFMANN et al. 2006). In einer Studie mit Druckplattenganganalyse zeigten die Patienten ein Wiedererlangen von bis zu 90 % der ursprünglichen Gliedmaßenfunktion nach durchschnittlich sechs Monaten (VOSS et al. 2008). Zahlreiche Weiterentwicklungen der Methode wie die Modifizierte Marquet-Technik (MMT) (ETCHEPAREBORDE et al. 2011), das zirkuläre Tibial Tuberosity Advancement (CTTA) (PETTAZONI 2010) oder die TTA rapid (SAMOY et al. 2015) und die TTA 2 (2004) wurden zur Reduktion der einzubringenden Implantate entworfen, basieren jedoch auf dem gleichen Prinzip (Abbildung 10).



Abbildung 10: Tibial Tuberosity Advancement, 3 verschiedene Techniken

Links: Klassische TTA-Technik

Der Platzhalter (Cage) wird mit zwei Schrauben zwischen der Tuberositas tibiae und der proximalen Tibia fixiert. Als zusätzliche Stabilisierung dient eine Platte, die von medial aufgebracht wird.

Quelle: Kyon, TTA & TTA-2 Training, 2018, <https://www.kyon.ch/education/tta-tta-2-training>, Zugriff 15.08.2018

Mitte: TTA 2

Der Osteotomiespalt wird langsam gedehnt und der Platzhalter eingebracht. Dieser bleibt durch seine raue Oberfläche und kleine Widerhaken in Position.

Quelle: Kyon, TTA & TTA-2 Training, 2018, <https://www.kyon.ch/education/tta-tta-2-training>, Zugriff 15.08.2018

Rechts: TTA Rapid

Bei dieser Technik wird ebenfalls auf die zusätzliche Platte verzichtet und der Platzhalter mit je 3 Schrauben kranial und kaudal des Osteotomiespaltes fixiert.

Quelle: Anon., Tibial Tuberosity Advancement Rapid Technique, 2013, <https://wrekinviewvets.weebly.com/news/tibial-tuberosity-advancement-rapid-technique>, Zugriff 15.08.2018

2.2.5.2.3.4 TTO

Eine weitere Form der Umstellungsosteotomien ist die 2007 vorgestellte Triple Tibial Osteotomy (TTO) (BRUCE et al. 2007). Sie stellt eine Kombination aus den Prinzipien der TTA und der TPLO dar. Eine Keilosteotomie führt zu einem Schwenken des Tibiaplateaus ähnlich der TPLO. Zusätzlich kommt es zu einer Verlagerung der Tuberositas tibiae nach kranial wie

bei der TTA. Es konnte bei 77,1 % der Fälle ein sehr gutes und bei 22,9 % ein gutes Ergebnis bei einer Komplikationsrate von 36,0 % erzielt werden (BRUCE et al. 2007).

2.3 Über die Tibial Plateau Leveling Osteotomy

Laut SLOCUM und DEVINE (1983) ist die Neigung des Tibiaplateaus zur funktionellen Tibiaachse dafür entscheidend, dass es nach einer Ruptur des kranialen Kreuzbandes bei Belastung der Gliedmaße zum Schubladenphänomen kommt. Aufgrund dieser Beobachtung entstand eine Operationstechnik bei der über eine Änderung des TPA die Neutralisierung dieser Bewegung erzielt wird, die CTWO (SLOCUM und DEVINE 1984). Das vordere Kreuzband wird dadurch überflüssig. Die TPLO stellt eine Weiterentwicklung dieser Operationsmethode dar. Hierbei wird durch einen kreisbogenförmigen Sägeschnitt im Bereich der proximalen Tibiametaphyse und -epiphyse die Rotation dessen entsprechend des zuvor gemessenen TPA ermöglicht. Die vordere Schublade ist postoperativ nach wie vor auslösbar, da keine zusätzliche Stabilisierung des Gelenks stattfindet (SLOCUM und DEVINE SLOCUM 1993).

2.3.1 Biomechanische Grundlagen

Die Entwicklung dieser neuen Operationsmethode fußt auf der Beschreibung des vorderen Tibiaschubs von HENDERSON und MILTON (1978). Laut dieser Publikation kann die auf den Gelenkspalt wirkende Kompressionskraft in zwei Anteile unterteilt werden: eine senkrecht und eine parallel auf den Gelenkspalt wirkende Kraft. Letztere repräsentiert den vorderen Tibiaschub. Die Kompression des Gelenkspaltes entsteht während der Belastungsphase durch das Körpergewicht und die Extensoren des Kniegelenks (SLOCUM und DEVINE SLOCUM 1993). Die Entwickler der TPLO nahmen an, dass die Krafteinwirkung auf das Kniegelenk bei der Belastung der Gliedmaße etwa parallel zum gemeinsamen Fersensehnenstrang und zur funktionellen Tibiaachse stattfindet (TEPIC et al. 2002, TEPIC und MONTAVON 2004, BOUDRIEAU 2009). Hierfür gibt es jedoch keine beweisenden Publikationen (BOUDRIEAU 2009). Aufgrund der kaudalen Schrägstellung des Tibiaplateaus kommt es bei Kompression des Gelenkspaltes zu einer Translokation der Tibia nach kranial (SLOCUM und DEVINE SLOCUM 1993, BOUDRIEAU 2009). Durch die Veränderung des Tibiaplateauwinkels kann somit der vordere Tibiaschub beseitigt werden (SLOCUM und DEVINE SLOCUM 1993). Wird der TPA in

Bezug auf die funktionelle Tibiaachse auf 0° korrigiert, so wirkt nur noch die senkrecht auf das Tibiaplateau gerichtete Kompressionskraft (Abbildung 11). Das kraniale Kreuzband ist somit ohne Funktion und das kaudale Kreuzband wird zum primären Stabilisator des Gelenks (SLOCUM und DEVINE SLOCUM 1993). Da die Sitzbeinmuskulatur ein geringes Ausmaß eines verbleibenden vorderen Tibiaschubs ausgleicht, wird empfohlen, den TPA auf 5° zu korrigieren (BOUDRIEAU 2009).

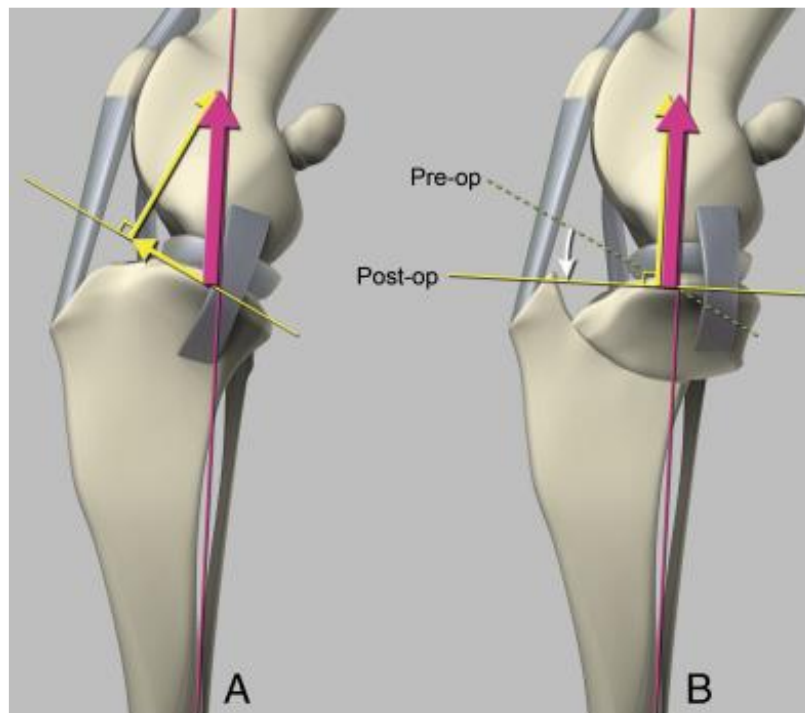


Abbildung 11: Schematische Darstellung der Neutralisation von Scherkräften nach einer TPLO (KIM et al. 2008)

Das Tibiaplateau (gelbe Linie) wird in Bezug auf die funktionelle Tibiaachse (violette Linie) rotiert und der vordere Tibiaschub neutralisiert.

2.3.2 Operationsplanung

Präoperativ erfolgt die Messung des TPA anhand einer mediolateralen Röntgenaufnahme des betroffenen Kniegelenks. Dieser ist bereits ab dem 90. Lebensjahr bestimmbar (ODDERS et al. 2004). Um ein möglichst genaues Messergebnis zu erzielen, sollte bei der Lagerung der Patienten für die Röntgenaufnahmen beachtet werden, dass der Abstand zwischen den beiden Kondylen des Femurs weniger als 2 mm beträgt. Der Zentralstrahl sollte in Richtung des Tibiaplateaus über dem Kniegelenk zentriert werden, wobei sich bei Verschiebung des Zentralstrahls um bis zu 10 cm nach proximal oder distal kein signifikanter Einfluss auf die gemessenen Werte ergab (REIF et al. 2004). Die Messung des TPA ist entscheidend für die

Planung der Operation (HEADRICK et al. 2007, BOUDRIEAU 2009). Sie kann bei Deformationen der proximalen Tibia erschwert sein (LAMBERT und WENDELBURG 2010) und eine inter- und intraindividuelle Variabilität ist dabei möglich (FETTIG et al. 2003, REIF et al. 2004, CAREY et al. 2005, HEADRICK et al. 2007, HURLEY et al. 2007, RITTER et al. 2007). Eine Alternative zur konventionellen Messmethode stellt die computergestützte Messung an digitalen Röntgenaufnahmen mit einem speziellen Programm dar (UNIS et al. 2010a). Beim Vergleich der beiden Messmethoden konnten keine wesentlichen Unterschiede festgestellt werden, wobei als Vorteile der digitalen Methode eine höhere Qualität der Röntgenaufnahmen und die einfachere und schnellere Durchführbarkeit zu nennen sind (SERWA et al. 2009). Laut Literatur wird ein postoperativer TPA von 5 - 6,5° angestrebt (SLOCUM und DEVINE SLOCUM 1993, MOELLER et al. 2006). Von einer stärkeren Korrektur wird abgeraten, da es hier zu einer Mehrbelastung des hinteren Kreuzbandes kommt (WARZEE et al. 2001, REIF et al. 2002). Eine nachträgliche Veränderung des TPA nach der Heilungsphase ist möglich (MOELLER et al. 2006, VECCHIO et al. 2012). Nach Ermittlung des TPA wird die erforderliche Größe des Sägeblattes ebenfalls anhand der Röntgenaufnahmen ermittelt. Diese sind in verschiedenen Größen für den jeweiligen Patienten passend erhältlich. Das Rotationszentrum und damit auch den Mittelpunkt des Kreisbogens stellt die Eminentia intercondylaris dar. Der kranioproximale Anteil der Osteotomie verläuft kaudal des Lig. patellae. Mit Hilfe einer Tabelle kann anhand der Größe des Sägeblattes und des Winkels die zu rotierende Strecke entlang des kreisbogenförmigen Sägeschnittes ermittelt werden.

2.3.3 Operationsdurchführung

Die Tibial Plateau Leveling Osteotomy (TPLO) wird nach der von SLOCUM und DEVINE SLOCUM (1993) beschriebenen Technik durchgeführt. Der Zugang zur proximalen Tibia erfolgt von medial. Die Fascia genu wird mittig von distal nach proximal eröffnet und so die proximale Tibia dargestellt. Die Pars caudalis des M. sartorius wird dargestellt und unter Schonung des medialen Seitenbandes an ihrem Ansatz von der Tibia gelöst. Die zuvor in den Röntgenaufnahmen angefertigte Messung wird mit Hilfe eines bipolaren Elektroauters in das Operationsfeld übertragen. Zur Vereinfachung der Durchführung der Osteotomie kann ein sogenannter „Jig“ medial an die Tibia mit Hilfe zweier Kirschner-Bohrdrähte angebracht werden. Dieser dient als Führungsschiene für das Sägeblatt und soll somit die korrekte

Ausrichtung der Säge in Bezug auf die Gliedmaßenachse sicherstellen. Er kann ebenso bei der Korrektur einer Varus- oder Valgusstellung hilfreich sein. Vorteile der Nutzung eines Jigs gegenüber der Durchführung einer TPLO ohne Jig konnten nicht gefunden werden (BELL und NESS 2007, SCHMERBACH et al. 2007). Es wird die Operation ohne Jig empfohlen, um die Operationszeit zu verkürzen, das proximale Tibiafragment leichter ausrichten zu können und Komplikationen durch das Einbringen der Kirschner-Bohrdrähte zu vermeiden (BELL und NESS 2007, SCHMERBACH et al. 2007). Die Osteotomie wird zunächst inkomplett mit Hilfe einer biradiären Säge entlang der Messpunkte durchgeführt. Das Sägeblatt weist im Querschnitt auf der konvexen und konkaven Seite denselben Radius auf, sodass die beiden Osteotomieflächen genau zueinander passen und eine optimale Reposition und Knochenheilung gewährleistet wird. Das Sägeblatt sollte parallel zum Tibiaplateau und senkrecht zur kraniokaudalen Tibiaachse positioniert werden um Rotationsfehler und einen Achsenknick zu vermeiden (WHEELER et al. 2003). Entlang der inkompletten Osteotomie werden entsprechend des errechneten Bogenmaßes die Markierungen zur Rotation des proximalen Knochenfragmentes mit Hilfe eines Osteotoms gesetzt. Im Anschluss erfolgt das Komplettieren des Sägeschnittes. Als Hebel für die Rotation wird ein der Größe des Fragmentes angepasster Kirschner-Bohrdraht innerhalb des proximalen Fragmentes platziert. Bei der Rotation wird auf eine möglichst korrekte Reposition geachtet. Dabei sollte die Orientierung nicht medial erfolgen, da es hierdurch zu einem verbreiterten Osteotomiespalt lateral, einer Valgusfehlstellung und einer vermehrten Innenrotation der Tibia kommen kann (WHEELER et al. 2003). Nach Rotation des Fragmentes entsprechend des zuvor markierten Bogenmaßes wurde ein antirotationeller Kirschner-Bohrdraht am Ansatz des Lig. patellae durch die Tuberositas tibiae in das proximale Fragment gesetzt. Dieser sollte nicht zu weit proximal im Bereich des Lig. patellae gesetzt werden, da hierdurch eine Schwellung und Desmitis des Bandes verursacht werden kann (PACCHIANA et al. 2003). Die Fixation erfolgt mit einer speziellen für diese Operationsmethode hergestellten TPLO-Platte und entsprechenden Kortikalisschrauben bzw. winkelstabilen Schrauben, je nach Implantat. Der Wundverschluss erfolgt schichtweise unter Reinsertion des M. sartorius.

2.3.4 Postoperatives Management

Es ist nicht nötig, nach der Operation einen modifizierten Robert-Jones-Verband anzulegen, da dieser keinen Einfluss auf die postoperative Gliedmaßenschwellung hat (UNIS et al. 2010b). Die Gliedmaße wird dadurch zwar in geringem Maße immobilisiert und die Wunde geschützt, jedoch ist ein Kühlen des Wundbereichs unter Verband nicht möglich, wodurch es ebenfalls zu Komplikationen kommen kann (UNIS et al. 2010b). Die strenge Ruhighaltung des Patienten ist für eine optimale Heilung der Osteotomie entscheidend. Übermäßige Aktivität sollte vermieden und die Bewegung an der Leine auf ein Minimum beschränkt werden bis eine ausreichende knöcherne Durchbauung der Osteotomiezone radiologisch nachgewiesen werden kann. Zur Verbesserung der Gliedmaßenfunktion, einer höheren Beweglichkeit und zum schnellen und stärkeren Muskelaufbau können Physiotherapie (MARSOLAIS et al. 2003, MONK et al. 2006), Muskelstimulation mit elektrischen Impulsen (JOHNSON et al. 1997) sowie Schwimmübungen (MARSOLAIS et al. 2003) hilfreich sein.

2.3.5 Komplikationen

Für die Gesamtkomplikationsrate werden in der Literatur Werte von 7,2 % (OXLEY et al. 2013) bis 33,3 % (CORR und BROWN 2007) angegeben. Postoperative Komplikationen traten dabei häufiger auf als perioperative. Die dokumentierten Komplikationen sind in Tabelle 1 aufgelistet.

Tabelle 1: Häufige Komplikationen nach TPLO

	Art der Komplikation	Referenzen
Perioperative Komplikationen	Tibiafraktur	(PACCHIANA et al. 2003, PRIDDDY et al. 2003, STAUFFER et al. 2006, CORR und BROWN 2007)
	Intraartikuläre Schraube	(PACCHIANA et al. 2003, PRIDDDY et al. 2003)
	Hämorrhagie	(PACCHIANA et al. 2003, STAUFFER et al. 2006, CONKLING et al. 2010, KIM und COOLMAN 2010)
	Gebrochener Kirschner-Bohrdraht	(PRIDDDY et al. 2003, CONKLING et al. 2010, FITZPATRICK und SOLANO 2010)
	Fibulahalsfraktur	(PRIDDDY et al. 2003, STAUFFER et al. 2006, FITZPATRICK und SOLANO 2010)
	Verletzung der A. poplitea	(PRIDDDY et al. 2003)
	Schraube im Osteotomiespalt	(PRIDDDY et al. 2003)
	Tupfer in der Wunde	(PRIDDDY et al. 2003)

	Intraartikulärer Jig	(PRIDDY et al. 2003)
	Gebrochene Schraube	(STAUFFER et al. 2006, FITZPATRICK und SOLANO 2010, KIM und COOLMAN 2010)
Frühzeitige Komplikationen	Irritation durch Verbände	(PACCHIANA et al. 2003)
	Weichteilschwellung/Ödem	(PACCHIANA et al. 2003, STAUFFER et al. 2006, KIM und COOLMAN 2010)
	Serom	(PACCHIANA et al. 2003, CONKLING et al. 2010, FITZPATRICK und SOLANO 2010)
	Nahtdehiszenz	(PACCHIANA et al. 2003)
	Sekretion	(PACCHIANA et al. 2003)
	Wundinfektion	(PACCHIANA et al. 2003, STAUFFER et al. 2006, CORR und BROWN 2007, WEESE et al. 2009, CONKLING et al. 2010, FITZPATRICK und SOLANO 2010, FREY et al. 2010, KIM und COOLMAN 2010, OXLEY et al. 2013)
	Hämatom	(PACCHIANA et al. 2003, CORR und BROWN 2007)
	Manipulation an der Wunde	(STAUFFER et al. 2006, CONKLING et al. 2010)
	Verzögerte Wundheilung	(CONKLING et al. 2010)
	Tibiafraktur	(STAUFFER et al. 2006)
	Gonitis	(CORR und BROWN 2007, OXLEY et al. 2013)
	Pyodermie	(CONKLING et al. 2010)
	Gelenkschwellung	(CONKLING et al. 2010)
	Schwellung der Gelenkkapsel	(STAUFFER et al. 2006, FITZPATRICK und SOLANO 2010)
	Luxation des M. extensor digitorum longus	(HAALAND und SJOSTROM 2007)
Späte Komplikationen	Fraktur Tuberositas tibiae	(PACCHIANA et al. 2003, KERGOSIEN et al. 2004, STAUFFER et al. 2006, CONKLING et al. 2010, FITZPATRICK und SOLANO 2010)
	Schwellung des Lig. patellae	(PACCHIANA et al. 2003, CAREY et al. 2005, MATTERN et al. 2006, STAUFFER et al. 2006, DUERR et al. 2007, CONKLING et al. 2010, FITZPATRICK und SOLANO 2010, KIM und COOLMAN 2010)
	Periostale Reaktion, Osteomyelitis	(PACCHIANA et al. 2003, CONKLING et al. 2010, FITZPATRICK und SOLANO 2010)
	Meniskusläsion	(PACCHIANA et al. 2003, FITZPATRICK und SOLANO 2010, OXLEY et al. 2013)

	Implantatlockerung	(PACCHIANA et al. 2003, STAUFFER et al. 2006, KIM und COOLMAN 2010, OXLEY et al. 2013)
	Gebrochene Schraube	(PACCHIANA et al. 2003, CORR und BROWN 2007, KIM und COOLMAN 2010)
	Fistulation	(PACCHIANA et al. 2003)
	Fibulafraktur	(PACCHIANA et al. 2003, STAUFFER et al. 2006, CORR und BROWN 2007, CONKLING et al. 2010, KIM und COOLMAN 2010)
	Fraktur der Patella	(PACCHIANA et al. 2003, FITZPATRICK und SOLANO 2010)
	Achsenfehler	(FITZPATRICK und SOLANO 2010, OXLEY et al. 2013)
	Persistierende Lahmheit	(CONKLING et al. 2010, FITZPATRICK und SOLANO 2010)
	Pivot Shift	(CONKLING et al. 2010)
	Reduzierte Beweglichkeit	(FITZPATRICK und SOLANO 2010)
	Verzögerte Knochenheilung	(FITZPATRICK und SOLANO 2010, KIM und COOLMAN 2010)
	Lähmung des N. fibularis	(FORTERRE et al. 2007)
	Patellaluxation	(ARTHURS und LANGLEY-HOBBS 2007, FITZPATRICK und SOLANO 2010, KIM und COOLMAN 2010)
	Weichteiltumor	(HARASEN und SIMKO 2008)

Laut einer Studie von PACCHIANA et al. (2003) hat die Rasse einen Einfluss auf die Entwicklung einer Komplikation. So waren Rottweiler öfter von Komplikationen betroffen als Labradore. Zudem entwickelten Patienten, bei denen eine Arthrotomie durchgeführt wurde, häufiger Komplikationen als Patienten bei denen keine Gelenkeröffnung stattfand. Auch die Durchführung einer beidseitigen Operation hat Einfluss auf die Komplikationsrate. In der Studie von PRIDDY et al. (2003) konnten bei 40 % der beidseitig operierten Patienten Komplikationen beobachtet werden, während die Komplikationsrate bei einseitigen Operationen bei 16,7 % lag. Diese Beobachtung wird von BERGH et al. (2008) unterstützt. Laut dieser Untersuchung steigt das Risiko für eine Fraktur bei beidseitiger TPLO um das 12,4-fache im Vergleich zur einseitigen Operation an. Auch KERGOSIEN et al. (2004) konnten bei der Versorgung beider Kniegelenke in einer Sitzung ein erhöhtes Risiko für eine Fraktur der Tuberositas tibiae feststellen. Zudem wurden das Alter und das Gewicht des Patienten sowie die verbleibende Breite der Tuberositas tibiae und die Position des antirotationellen Pins als Risikofaktoren dafür beschrieben. Eine Fraktur der Tuberositas tibiae ohne Dislokation hatte

laut dieser Studie keinen Einfluss auf das postoperative Ergebnis. Als Risikofaktoren für eine Fibulafraktur wurden von TUTTLE und MANLEY (2009) ein hohes Körpergewicht und die Durchführung der Operation ohne Jig angesprochen. Auch der TPA scheint für die Ausbildung einer Komplikation eine Rolle zu spielen. Laut DUERR et al. (2007) sind Komplikationen häufig mit einem steilen präoperativen TPA assoziiert. TUTTLE und MANLEY (2009) assoziierten einen hohen präoperativen TPA und die damit einhergehende starke Veränderung des Winkels mit einem höheren Risiko für eine Fibulafraktur. Relevant ist auch die Art des Implantates. Die postoperative Veränderung des TPA war laut CONKLING et al. (2010) mit winkelstabilen Implantaten weniger ausgeprägt als mit konventionellen. Zudem zeigten die Patienten mit einem winkelstabilen System eine schnellere Heilung der Osteotomiezone. Die Operationszeit (STAUFFER et al. 2006) und die Erfahrung des Operateurs (BERGH et al. 2008) scheinen keine Relevanz in Bezug auf das Komplikationsrisiko zu haben. Die Untersuchung von PRIDDY et al. (2003) zeigte, dass die Besitzerzufriedenheit unabhängig von der Entwicklung einer Komplikation ist.

2.3.6 Andere Auswirkungen

2.3.6.1 Osteoarthritis

Zur Beurteilung der biomechanischen Effizienz einer Operationsmethode kann die Ausprägung der Osteoarthritis des therapierten Gelenks herangezogen werden. Diese wird meist anhand von Röntgenaufnahmen beurteilt. Mit Hilfe der Szintigrafie konnte ein Fortschreiten der degenerativen Veränderungen im Kniegelenk nach der TPLO nicht beobachtet werden (LEE et al. 2007). In einer prospektiven Studie von RAYWARD et al. (2004) wurde die Arthroseprogression nach TPLO bei 40 Hunden röntgenologisch untersucht. Dabei wurden fünf Grade der Osteoarthritis von Grad 0 (keine osteophytären Zubildungen) bis Grad 4 (hochgradig osteophytäre Zubildungen) unterschieden. Die Probanden wurden zu Beginn der Studie sowie 6 Wochen und 6 Monate nach der Operation untersucht. Bei 40 % der Tiere konnte ein Fortschreiten der Gonarthrose beobachtet werden. 57,5 % zeigten keine radiologischen Veränderungen im Vergleich zur Voruntersuchung und bei 2,5 % wurde eine Abnahme der Osteophyten erfasst. Alter oder Körpergewicht hatten keinen Einfluss auf die Arthroseprogression. In einer retrospektiven Langzeitstudie von LAZAR et al. (2005) zeigte sich nach zwölf Monaten nach der Operation ein deutliches Fortschreiten der arthrotischen

Kniegelenksveränderungen. So wurde die Arthroseprogression hier bei 40,3 % der Probanden als leichtgradig und bei 59,7 % als hochgradig interpretiert. LINEBERGER et al. (2005) zeigten, dass eine Arthrotomie im Vergleich zur Arthroskopie prädisponierend für das Fortschreiten der Gonarthrose wirkt. Die Arthroseprogression wird vor allem an der proximalen Patella, dem kranialen Tibiaplateau sowie der medialen Tibia sichtbar (KLOENE 2005). Größere Hunde weisen radiologisch deutlichere Anzeichen auf als Hunde kleiner Rassen (HURLEY et al. 2007). Im Vergleich mit der lateralen Fadenzügelung konnte eine geringere Ausprägung der osteophytären Zubildungen festgestellt werden (KLOENE 2005).

In einer Untersuchung von HULSE et al. (2010) wurden die Patienten zwei bis 68 Monate nach der TPLO erneut arthroskopisch untersucht und der Gelenkknorpel nach einer modifizierten Outerbridge-Skala beurteilt (Abbildung 12). Der Gelenkknorpel zeigte sich bei den Patienten mit einem partiellen vorderen Kreuzbandriss sowohl vor als auch durchschnittlich 25 Monate nach der TPLO normal. Auch bei den Patienten mit kompletter vorderer Kreuzbandruptur wies der Knorpel vor der Operation ein normales Erscheinungsbild auf, jedoch wurden nach durchschnittlich 35,5 Monaten deutliche Knorpelschäden sichtbar. Die Probanden dieser Gruppe wiesen außerdem ein signifikant höheres Körpergewicht auf. Über die Hälfte der Patienten zeigten Läsionen 3. oder 4. Grades, welche am häufigsten an der lateralen, aber auch an der medialen Femurkondyle und am medialen Tibiaplateau zu finden waren. Die Patienten mit einem partiellen vorderen Kreuzbandriss konnten also von einem protektiven Effekt der TPLO profitieren, während die Patienten mit einer vollständigen Ruptur des vorderen Kreuzbandes deutliche Gelenkknorpelschäden erlitten.

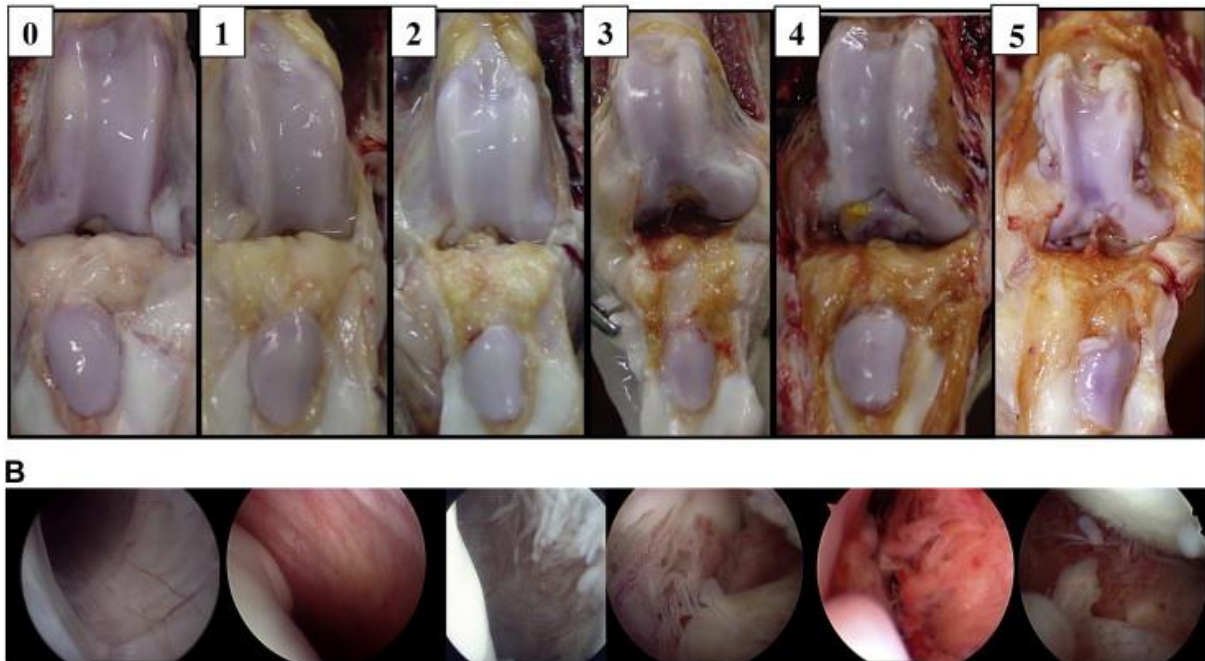


Abbildung 12: Anatomische (A) und arthroskopische (B) Graduierung von Knorpelschäden mit Hilfe der modifizierten Outerbridge-Skala aus COOK et al. (2010a)

- (0) Normal – opalweiß , durchscheinend, glatt, mit wenigen, gut definierten Gefäßen
- (1) Slight – fokale Schädigung, geringgradige Farbveränderung, sichtbare Proliferation/Fimbrierung/Verdickung, deutliche erhöhte Vaskularisierung
- (2) Mild – diffuse Schädigung, geringfügige Farbveränderungen, sichtbare Proliferation/Fimbrierung/Verdickung, deutliche erhöhte Vaskularisierung
- (3) Moderate – diffuse Schädigung, deutliche Farbveränderungen, deutlich sichtbare Proliferation/Fimbrierung/Verdickung, moderate Vaskularisierung
- (4) Marked – diffuse Schädigung, deutliche Farbveränderungen, deutlich sichtbare Proliferation/Fimbrierung/Verdickung, diffuse Hypervaskularisierung
- (5) Severe – diffuse Schädigung, hochgradige Farbveränderungen, deutlich sichtbare hochgradige Proliferation/Fimbrierung/Verdickung, Verdickung bis hin zur Fibrose, hochgradige Hypervaskularisierung

2.3.6.2 Belastung des kaudalen Kreuzbandes

Die Ruptur des vorderen Kreuzbandes zieht auch morphologische Veränderungen des hinteren Kreuzbandes nach sich. Diese lassen sich durch wiederholte Mikrotraumata im Zusammenhang mit der Instabilität des Gelenks erklären. Zusätzlich spielt eine enzymatische Schädigung der Bandstruktur durch die veränderte Zusammensetzung der Synovia eine Rolle (ZACHOS et al. 2002). Nach den Umstellungsosteotomien fungiert das kaudale Kreuzband als

primärer Kniegelenksstabilisator (WARZEE et al. 2001). Es wird der kraniale Tibiaschub in einen kaudalen umgekehrt, sodass es postoperativ zu einer vermehrten Belastung des hinteren Kreuzbandes kommt (WARZEE et al. 2001, BOUDRIEU 2009). Je größer die Rotationsstrecke des Tibiaplateaus bei der TPLO, desto stärker wird auch die postoperative Belastung des kaudalen Kreuzbandes (SHAHAR und MILGRAM 2006). Es wird angenommen, dass dieses somit ein größeres Risiko der Degeneration und Ruptur zeigt (ZACHOS et al. 2002). Die klinische Relevanz dessen ist jedoch fraglich. Zudem konnten in Arthroskopien nach Versorgung eines vorderen Kreuzbandrisses mit TPLO makroskopisch keine Veränderungen des kaudalen Kreuzbandes gesehen werden (HULSE et al. 2010).

2.3.6.3 Verdickung des *Ligamentum patellae*

Eine Verdickung des Lig. patellae (Abbildung 13), welche mit einer Lahmheit für einige Monate einhergehen kann, wird häufig nach einer TPLO beobachtet (CAREY et al. 2005, MATTERN et al. 2006).



Abbildung 13: Fotografie und mediolaterale Röntgenaufnahme des linken Kniegelenks eines Beagles sechs Wochen nach TPLO

Die Verdickung des Lig. patellae ist sowohl klinisch als auch radiologisch nachvollziehbar.

In einer Studie von MATTERN et al. (2006) wurde die Verdickung des Kniescheibenbandes vor allem distal lokalisiert. Des Weiteren wurden ein TPA unter 6° postoperativ und ein hohes Körpergewicht als Risikofaktoren für diese Beobachtung genannt. Die Autoren vermuteten, dass die vermehrte Belastung des Patellarbandes nach einer TPLO aufgrund der Veränderung der Biomechanik des Gelenks die Ursache für die Verdickung desselben sein könnte. Die Breite des Sägeschnitts (KOWALESKI et al. 2005) und die Position der Osteotomie (KOWALESKI und MCCARTHY 2004) beeinflussen nach Rotation des proximalen Tibiafragmentes die Entfernung des Ansatzpunktes des Lig. patellae an der Tuberositas tibiae und der Eminentia intercondylaris zueinander. Wird diese Entfernung kleiner, resultiert dies in einer vermehrten Krafteinwirkung auf das Lig. patellae während der Belastungsphase (BOUDRIEAU 2009). Histologisch wurden Anzeichen wiederholter Überbelastung, wie sie bei einer Tendinose der Patellarsehne in der Humanmedizin beschrieben werden, bestätigt. Es zeigten sich Strukturverlust der kollagenen Fasern, knorpelige Metaplasie der Sehne, die Zunahme der myxomatösen Matrix sowie eine Neovaskularisierung ohne Anzeichen einer Entzündung (CAREY et al. 2005). Neben der biomechanischen Veränderung werden zudem die Reizung des Kniescheibenbandes durch starke Retraktion während der Operation und eine thermische Schädigung durch Kontakt mit dem Sägeblatt diskutiert (CAREY et al. 2005, MATTERN et al. 2006). In einer Studie von CAREY et al. wurden eine kraniale Position der Osteotomie, eine partielle Ruptur des vorderen Kreuzbandes und damit ebenfalls einhergehende kraniale Osteotomie sowie eine Fraktur der Tuberositas tibiae postoperativ als Risikofaktoren für die Verdickung der Patellarsehne beschrieben (CAREY et al. 2005). Hier wurde außerdem zwischen einer reinen Verdickung und einer Tendinose unterschieden. Letztere geht mit einer starken Verdickung der Sehne, einer Lahmheit, Schmerzhaftigkeit bei Palpation und einer Weichteilschwellung einher. Als einziger Risikofaktor für eine Tendinose gilt laut dieser Studie ein partieller vorderer Kreuzbandriss (CAREY et al. 2005). Aufgrund dieser Beobachtungen empfehlen die Autoren eine zentrale Position des Sägeschnittes zur Vorbeugung einer Verdickung des Lig. patellae und einer möglichen Tendinose (CAREY et al. 2005).

2.4 Gliedmaßenfunktion

2.4.1 Ganganalyse

Zur subjektiven Beurteilung der Gliedmaßenfunktion kann eine Besitzerbefragung und eine klinisch orthopädische Untersuchung durch den Tierarzt durchgeführt werden. Eine objektive Evaluierung ist mit Hilfe einer ganganalytischen Untersuchung möglich. Hierfür werden in der Human- und Tiermedizin verschiedene Methoden eingesetzt. Entscheidend für die Beurteilung eines Bewegungsmusters sind zwei Teilgebiete der Mechanik. Die Kinetik, welche auch als Lehre des Zusammenhangs zwischen den Kräften und den daraus folgenden Bewegungen eines Körpers bezeichnet wird (DECAMP 1997) und die Kinematik. Letztere beschreibt wiederum die Bewegung eines Körpers geometrisch, d.h. unter Berücksichtigung von Zeit, Ort, Geschwindigkeit und Beschleunigung, aber ohne Einbeziehung von Kraft und Masse des Körpers (DECAMP 1997).

2.4.1.1 *Die Force Plate Analyse*

Dieses Verfahren wird zur Beurteilung der Kinetik im Rahmen der Bewegungsanalyse eingesetzt. Es handelt sich um eine Messung der Kräfte, welche über einen festgelegten Zeitraum während einer bestimmten Bewegung wirken. Die Messung erfolgt mit Hilfe von Kraftmessplatten. Diese sind entweder im Boden oder in einem Laufband integriert (Abbildung 14). Das Laufband erweist sich aufgrund der konstanten Geschwindigkeit als vorteilhaft. Zu Beginn wird eine kurze Eingewöhnungszeit benötigt, jedoch entspricht das darauffolgende Gangbild dem physiologischen Bewegungsmuster (OWEN et al. 2004, BREBNER et al. 2006) und kann für ganganalytische Untersuchungen verwendet werden.



Abbildung 14: Force Plate Ganganalyse (MILLIS und LEVINE 2013)

Messung von Bodenreaktionskräften. Der Patient wird mit der zu untersuchenden Gliedmaße über eine Kraftplatte geführt.

Je nach Größe der Messplatten werden die Kraftwirkungen einer oder mehrerer Gliedmaßen gleichzeitig erhoben. Man unterscheidet im Rahmen eines Schrittes die Schwung- und die Standphase. Diese beiden Phasen werden durch das Auf- und Abfußen eingeteilt. Die Bodenkontaktzeit bezeichnet dabei den Zeitraum zwischen dem Auf- und Abfußen. Während der Belastungsphase werden die Bodenreaktionskräfte (Ground reaction forces) gemessen, welche durch drei orthogonale Kräfte beschrieben werden (BUDSBERG et al. 1987). Die Darstellung der Kräfte erfolgt in einem orthogonalen Koordinatensystem, wobei auf die x-Achse Querkräfte, auf die y-Achse Schub- und Bremskräfte und die z-Achse vertikale Kräfte aufgetragen werden. Das nach innen bzw. außen Führen der Pfote wird durch die mediolateralen Kräfte (F_x) angezeigt. Diese sind eher schwach ausgeprägt und für die Bewegungsanalyse weniger relevant. Das Abbremsen und Beschleunigen wird durch die kranio-kaudalen Kräfte (F_y), die während der Auffußung bzw. kurz vor der Abfußung wirken, beschrieben. Die Gewichtskraft (F_z) entspricht den vertikalen Kräften. Diese ist im Stand am geringsten und wird durch Beschleunigungskräfte während der Bewegung beeinflusst. Dabei ist die Änderung des Wertes stark von der Geschwindigkeit der Bewegung abhängig (RIGGS et al. 1993, MCLAUGHLIN und ROUSH 1994, ROUSH und MCLAUGHLIN 1994). Im Schritt sind

Werte von ca. 55 - 70 % der Körpermasse (BUDSBERG et al. 1987, DECAMP 1997) und im Sprung Werte von bis zu 215 % (YANOFF et al. 1992) beschrieben. Die Gesamtkraft, die während eines bestimmten Zeitabschnitts wirkt wird als Impuls und der Maximalwert einer Kraft als Peak bezeichnet. Das Gewicht des Hundes kann mit Peaks der vertikalen Kräfte in Zusammenhang gebracht werden. So bringen größere Hunde eine prozentual zu ihrem Körpergewicht gemessen niedrigere Maximalkraft auf die einzelnen Gliedmaßen auf. Hingegen kann eine positive Korrelation des Körpergewichts mit dem Impuls beobachtet werden (BUDSBERG et al. 1987). Diese Diskrepanz ist jedoch der Bewegungsgeschwindigkeit und nicht dem Körpergewicht als solchem geschuldet. Bei gleicher Laufbandgeschwindigkeit zeigt ein großer Hund einen langsameren Bewegungsablauf als ein kleiner Hund (BERTRAM et al. 2000). Die Standphase des kleineren Hundes ist zwar länger, jedoch zeigt er eine höhere Geschwindigkeit bei der Abfußung. Die Kräfte werden daher zum Ausgleich dieser Unterschiede im Verhältnis zum Körpergewicht prozentual angegeben (OFF und MATIS 1997). Da die Geschwindigkeit stark abhängig von der Körpergröße und nicht vom Körpergewicht ist, kann es unter Einbeziehung des Körpergewichts allein zu verfälschten Ergebnissen bei der Untersuchung verschiedener Probanden kommen (VOSS et al. 2010). Es wird daher eine Kombination aus Körpergröße und Gewicht in Relation zu den Kräften und der Standphase empfohlen (VOSS et al. 2010). Tagesformabhängige Unterschiede beim Probanden müssen bei Verlaufskontrollen berücksichtigt werden (RUMPH et al. 1999). Bei Lahmheiten verändern sich entsprechend die Bodenkontaktzeit und die Kräfte. Die Peaks der vertikalen Kraft und der vertikale Impuls sind für die betroffenen Gliedmaßen vermindert, wobei der vertikale Impuls allein eine geringere Aussagekraft besitzt (EVANS et al. 2005, BREBNER et al. 2006, FANCHON und GRANDJEAN 2007). Die kontralaterale Gliedmaße wird in der Regel mehr belastet und weist daher eine Erhöhung der vertikalen und der kranio-kaudalen Kräfte auf. Für die Interpretation kann der Symmetrieindex (SI) hilfreich sein, welcher sich aus dem Vergleich der Peaks der vertikalen Kraft (Peak vertical force, PVF) einer Gliedmaße mit der kontralateralen Seite ergibt. Bei nicht vorhandener Lahmheit liegt der Symmetrieindex bei unter sechs (VOSS et al. 2007). Dessen Aussagekraft kann jedoch bei beidseitiger Lahmheit herabgesetzt sein. Zudem ist es möglich, dass nicht die kontralaterale Gliedmaße, sondern eine andere zur Entlastung genutzt wird, was den Symmetrieindex ebenfalls beeinflusst. Die muskuloskelettalen Besonderheiten eines Gelenks werden mit dieser Messung nicht erfasst. Hierfür sind kinematografische Untersuchungen notwendig.

2.4.1.2 Die Kinematografie

Zur Beurteilung der Kinematik wird das zu untersuchende Gelenk mit Hilfe von Hochgeschwindigkeitsvideosequenzen geometrisch analysiert. Hierfür stehen zwei Verfahren zur Verfügung.

2.4.1.2.1 Die Videokinematografie

Bei der Videokinematografie handelt es sich um ein Verfahren aus der Humanmedizin. Hierbei werden dem Probanden spezielle reflektierende Hautmarker auf Höhe der Gelenke aufgeklebt (Abbildung 15). Auch in der Veterinärmedizin wurde dieses Verfahren getestet (DECAMP et al. 1993, OWEN et al. 2004).



Abbildung 15: Videokinematografie eines Beagles (MILLIS und LEVINE 2013)

Die Marker werden auf der zuvor geschorenen Haut aufgebracht.

Als Landmarken werden gut tastbare Knochenpunkte genutzt. So können die Marker an der Vordergliedmaße an der dorsalen Spina scapulae, am Acromion, dem Epicondylus lateralis humeri, dem Proc. styloideus ulnae und am distalen Ende des fünften Metacarpalknochens angebracht werden. Als Positionen für die Marker an der Hintergliedmaße werden der dorsale Anteil der Crista iliaca, der Trochanter major, der laterale Anteil des Femorotibialgelenks, welcher zwischen Epicondylus lateralis des Femurs und dem Fibulakopf liegt, der Malleolus lateralis der Fibula sowie das distale Ende des fünften Metatarsalknochens genutzt. Die

Marker reflektieren während der Untersuchung ausgesendete Infrarotblitze, während mehrere synchronisierte Hochgeschwindigkeitskameras mit einer Leistung von mindestens 250 Bildern pro Sekunde den Bewegungszyklus filmen. Mindestens zwei der Kameras müssen die Reflexion des Markers aufzeichnen, damit mit spezieller Software die Position des Markers im dreidimensionalen Raum ermittelt werden kann. Um eine möglichst präzise Messung durchführen zu können, müssen die Geräte vor jeder Untersuchung mit einem speziellen Gitter kalibriert werden. Dieses ist mit Markern in einem bekannten Abstand versehen und dient der späteren Identifikation der Marker am Probanden im Raum. Darauf basierend kann die Bewegung der Marker gegeneinander ermittelt und die Bewegung der Gliedmaßen als Diagramm von einem Computer errechnet werden. Es werden dabei die Schrittlänge, die Winkelung der Gelenke und die Auslenkung der Gliedmaße jeweils beim Auf- und Abfußen dokumentiert. Als Limitation dieses Verfahrens muss die erschwerte genaue Positionierung der Marker und die Wiederholbarkeit dessen gesehen werden (KADABA et al. 1989). Außerdem kommt es in der Bewegung zwangsläufig zur Verschiebung der Haut gegen die Muskulatur und die knöchernen Strukturen, sodass Messungenauigkeiten entstehen. An Körperstellen mit viel Bindegewebe und Muskulatur ist diese Verschiebung besonders ausgeprägt (SCHWENCKE et al. 2012, HARA et al. 2014). Die genaue Bewegung der Knochen kann mit dieser Methode anhand der Marker nicht evaluiert werden (KHUMSAP et al. 2004, LEARDINI et al. 2005, FILIPE et al. 2006, KIM et al. 2011).

2.4.1.2.2 Die fluoroskopische Kinematografie

Bei der Röntgenvideokinematografie wird der Patient in der Bewegung mit Hilfe von Röntgenstrahlung untersucht. Dies hat den Vorteil, dass die zu beurteilenden Knochen und Gelenke direkt sichtbar gemacht werden und keine Artefakte durch die Bewegung des umliegenden Weichteilgewebes entstehen. Hierfür wird eine Bildverstärkereinheit verwendet, welche Röntgenstrahlen durch die zu untersuchende Region am Patienten sendet und eine Empfängereinheit, die das erzeugte Bild registriert (Abbildung 16). Es werden bis zu 2000 solcher Bilder pro Sekunde generiert. Eine mit der Empfängereinheit gekoppelte Hochgeschwindigkeitskamera zeichnet die einzelnen Bilder auf, sodass ein Röntgenvideo entsteht, welches eine flüssige Bewegung zeigt. Da ein Fluoroskop, also eine Durchleuchtungseinheit, dafür verwendet wird, spricht man auch von fluoroskopischer Kinematografie.

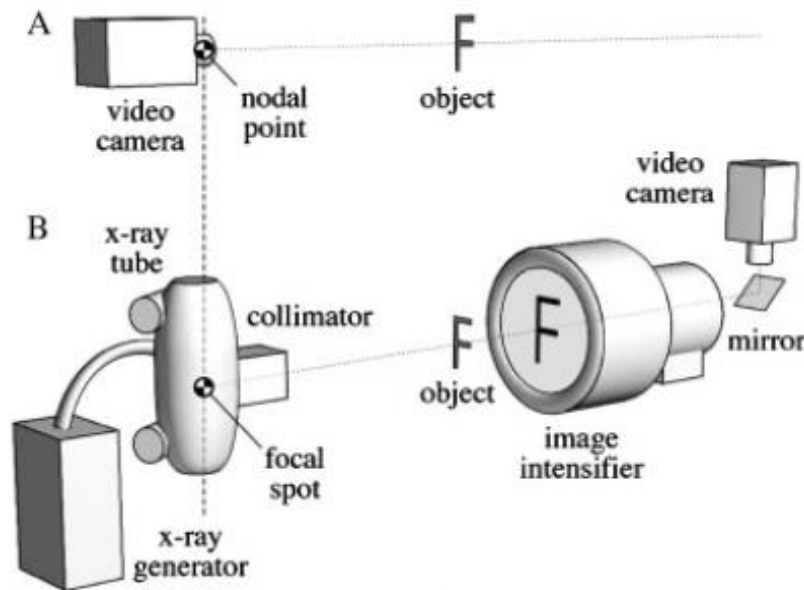


Abbildung 16: Schematische Darstellung des Aufbaus für die uniplanare fluoroskopische Kinematografie, modifiziert aus GATESY et al. (2010)

Eine mit der fluoroskopischen Einheit gekoppelte Standardkamera (A) filmt die Bewegung des Objekts (F) in Echtzeit. Anhand dieser Bilder kann der Moment des Auffußens visuell erfasst werden. Die Bildverstärkereinheit (B) generiert Röntgenaufnahmen, welche von der Empfängereinheit registriert und wiederum von einer damit gekoppelten High-Speed-Kamera erfasst werden.

Die Bewegung in der sagittalen Ebene kann mit Hilfe je einer Durchleuchtungs- und Empfängereinheit, also in einer uniplanaren Untersuchung beurteilt werden. Bedarf es einer Evaluierung der Bewegung im dreidimensionalen Raum, so ist ein biplanarer Aufbau mit je zwei Bildverstärker- und Empfängereinheiten notwendig (Abbildung 17). Hierbei müssen beide Anlagen in einem bestimmten Winkel zueinander ausgerichtet und über einen Triggermechanismus zeitgleich ausgelöst werden.



Abbildung 17: Anlage für die fluoroskopische Kinematografie der Universität Leipzig, biplanarer Aufbau

Die beiden Empfängereinheiten werden in einem Winkel von 60° zueinander ausgerichtet, wobei der Abstand zwischen Bildverstärker und Empfänger 140 cm beträgt. Die beiden Empfängereinheiten sind mit je einer Hochgeschwindigkeitskamera gekoppelt. Eine weitere Kamera wird für die Aufzeichnung der Fußung des Patienten benötigt.

Mit Hilfe der fluoroskopischen Kinematografie ist es möglich auf einem minimalinvasiven Weg die genaue Bewegung der knöchernen Strukturen zueinander in vivo direkt visuell zu beurteilen. Da die Größe der Empfängereinheit limitiert ist, ist diese Untersuchung jedoch nur für ein begrenztes Areal und nicht wie die Videokinematografie für den ganzen Körper möglich. Eine Halteperson ist für diese Art der Kinematografie notwendig, sodass die Strahlenbelastung sowohl für das Personal als auch für den Probanden unbedingt bedacht werden muss. Das Tragen einer Bleischürze, eines Schilddrüsenschutz, einer Bleiglasbrille sowie Bleihandschuhen ist zwingend erforderlich. Eine Bleiglaswand, welche zwischen dem Probanden und der Halteperson positioniert wird, ist ebenfalls hilfreich. Der Abstand der Halteperson zur Strahlenquelle sollte möglichst groß gewählt werden, da die Strahlendosis bei zunehmenden Abstand deutlich abnimmt (inverses Quadratabstandgesetz) (BASHORE et al. 2001).

3 MATERIAL UND METHODEN

3.1 Patienten und Studiendesign

Die Arbeit unterteilt sich in eine retrospektive und eine prospektive Untersuchung. Generell wurden nur Kniegelenke von Hunden mit einer Körpermasse von ≥ 15 kg mit einem vollständigen Riss des vorderen Kreuzbandes betrachtet. Für diese musste eine postoperative fluoroskopische Ganganalyse vorliegen. In die retrospektive Auswertung gelangten solche Gelenke, welche im Zeitraum von Januar 2009 bis Januar 2013 an der Klinik für Kleintiere der Universität Leipzig mit einer TPLO versorgt worden waren und die oben genannten Kriterien erfüllten. Für die zweite Studie wurden alle Gelenke von Februar 2014 bis Dezember 2015, welche aufgrund eines vollständigen vorderen Kreuzbandrisses mit einer TPLO an den Klinik für Kleintiere der Universität Leipzig operiert worden waren, erfasst. Da alle Patienten aus Privatbesitz stammten, konnten nur die Tiere in die Studie einbezogen werden, für die die Besitzer ihr Einverständnis zur fluoroskopischen Ganganalyse erteilt hatten. Hunde mit einer Körpermasse von < 15 kg, Hunde im Wachstum sowie Patienten mit intraoperativen Komplikationen oder zuvor erfolgten operativen Eingriffen am Kniegelenk wurden von der Untersuchung ausgeschlossen.

3.1.1 Retrospektive Studie

Es wurden Daten für 21 Kniegelenke von 19 Hunden erhoben, welche retrospektiv ausgewertet wurden. Aufgrund der Strahlenbelastung für die Probanden handelte es sich um einen angezeigten Tierversuch nach §8 Tierschutzgesetz (Reg.-Nr.: 15-105/08). Bei der operativen Versorgung mit TPLO wurde in dieser Gruppe ein postoperativer TPA von 5° , wie in der Literatur empfohlen, angestrebt.

3.1.2 Prospektive Studie

16 Kniegelenke von 16 Hunden wurden prospektiv ausgewertet. Auch hierbei handelt es sich aus genannten Gründen um einen angezeigten Tierversuch nach §8 Tierschutzgesetz (Reg.-Nr.: TVV 07/14). Bei den Patienten dieser Gruppe wurde ein postoperativer TPA von 0° angestrebt.

3.2 Untersuchungsablauf

3.2.1 Klinische Untersuchung

Für die Patienten der prospektiven Gruppe erfolgte eine vollständige orthopädische Untersuchung nach einem standardisierten Untersuchungsprotokoll zum Zeitpunkt der Erstvorstellung sowie der Kontrolle sechs bis acht Wochen nach der operativen Versorgung (siehe Anhang). Hierbei wurde die bestehende Lahmheit in vier Grade eingeteilt und entsprechend dokumentiert: Grad 0 = ohne Lahmheit, Grad 1 = undeutlich geringgradig lahm, Grad 2 = geringgradig lahm, Grad 3 = mittelgradig lahm, Grad 4 = hochgradige Lahmheit, keine Belastung der betroffenen Gliedmaße. Weiterhin wurden Sitztest, Schubladentest und Tibiakompressionstest sowie Meniskusklicken evaluiert. Im Rahmen der retrospektiven Studie wurden keine Daten bezüglich des Lahmheitsgrades der Patienten dokumentiert.

3.2.2 Präoperative radiologische Untersuchung

Die betroffenen Kniegelenke wurden mit einem digitalen Radiografiesystem (Philips OmniDiagnost bzw. Philips DigitalDiagnost, Philips Medical Systems Nederland B. V., Best, The Netherlands) präoperativ im mediolateralen sowie anteriorposterioren Strahlengang geröntgt. Der präoperative TPA, die entsprechende Größe des Sägeblattes sowie die Dicke des Lig. patellae wurden gemessen. Außerdem wurden drei Punkte für die Positionierung der Osteotomie bestimmt, welche zur Übertragung auf den Operationssitus dienten. Alle Messungen erfolgten an kalibrierten Aufnahmen mittels digitalem Picture Archiving and Communication System (Philips IntelliSpace PACS Radiology, Philips Medical Systems Nederland B. V., Best, The Netherlands).

Für die Messung des TPA wurde zunächst die funktionelle Tibiaachse vom Zentrum des Tarsalgelenks bis zur Eminentia intercondylaris eingezeichnet. Im Anschluss wurden die kraniale und die kaudale Begrenzung des lateralen Tibiaplateaus markiert und mit einer Linie verbunden. Der Winkel zwischen dieser Linie und der funktionellen Tibiaachse wurde bestimmt und von einem 90°-Winkel subtrahiert. Hieraus ergibt sich der TPA (Abbildung 18).



Abbildung 18: Messung des Tibiaplateauwinkels zur Operationsplanung
Der präoperative TPA beträgt bei diesem Patienten 30°.

Für die Dickenmessung des Ligamentum patellae wurde zunächst dessen Gesamtlänge von der Insertion an der Apex patellae zum Ansatz an der Tuberositas tibiae bestimmt und in vier gleichgroße Abschnitte unterteilt. Die Messung der Dicke erfolgte an zwei Lokalisationen: proximal (am Übergang von Abschnitt 1 zu Abschnitt 2) und distal (am Übergang von Abschnitt 3 zu Abschnitt 4) von kranial nach kaudal (Abbildung 19).



Abbildung 19: Präoperative Messung des Ligamentum patellae an der mediolateralen Röntgenaufnahme

Die Breite des Lig. patellae beträgt am proximalen Punkt 5,7 und am distalen Punkt 3,1 mm.

3.2.3 Fluoroskopie

Die fluoroskopisch-kinematografische Ganganalyse erfolgte mit einem Hundelaufband (Modell DC7, JOG A DOG, Ottawa Lake, Michigan, USA) für jedes erkrankte Gelenk im uniplanaren Strahlengang. Ein Standard-C-Bogen (Modell BV 300, Philips Medical Systems Nederland B. V., Best, The Netherlands) mit einer integrierten Hochgeschwindigkeitsvideokamera (Modell CamRecord 600, Optronis, Kehl, Germany) als Ersatz für die Standard-Videokamera des C-Bogens bildeten die fluoroskopische Einheit. Der C-Bogen wurde kontinuierlich bei 80 - 110 kV und 2,8 - 3,1 mA, je nach Körpermasse der Hunde, betrieben. Für das Laufband wurden Geschwindigkeiten zwischen 0,8 - 1,0 m/s, je nach Größe der Hunde und Grad der bestehenden Lahmheit gewählt. Die Dauer der Videosequenzen betrug zwischen 4 und 6 Sekunden mit 500 Bildern pro Sekunde und einer Belichtungszeit von 1/2000 s. Zur bestmöglichen Evaluierung der kranio-kaudalen Bewegung

der Gelenke in der sagittalen Ebene wurden diese im laterolateralen Strahlengang mit Fokus auf das betroffene Kniegelenk aufgenommen (Abbildung 20). Die Tiere liefen im Schrittempo und zeigten maximal eine geringgradige Lahmheit der erkrankten Gliedmaße. Die komplette Fußungsphase der betroffenen Hintergliedmaße, bestehend aus Vorführungsphase, dem Zeitpunkt der Auffußung sowie der Abfußungsphase, wurde mit einer zweiten synchronisierten Hochgeschwindigkeitsvideokamera gefilmt. Pro Sequenz wurden mindestens drei Fußungsphasen erfasst. Aufgrund des eingeschränkten Sichtfeldes des Bildverstärkers war ein Austritt des Kniegelenks aus dem Bildausschnitt bei großen Hunden nicht zu vermeiden. Es erfolgte eine visuelle Beurteilung der entstandenen Videosequenzen hinsichtlich einer kranio-kaudalen Translationsbewegung zwischen Femur und Tibia durch zwei unabhängige Untersucher (PR, PB). War eine solche Bewegung zwischen den Femurkondylen und dem Tibiaplateau sichtbar, so wurde das betroffene Kniegelenk als instabil und bei Ausbleiben der Bewegung als stabil bewertet. Zwischen beiden Untersuchern wurde eine Übereinstimmung hinsichtlich der Stabilität der Kniegelenke getroffen. Eine Graduierung der Beweglichkeit wurde nicht vorgenommen. Befand sich das Kniegelenk in einer statischen Subluxationsstellung und zeigte keine kranio-kaudale Beweglichkeit, so wurde es als stabil eingestuft.

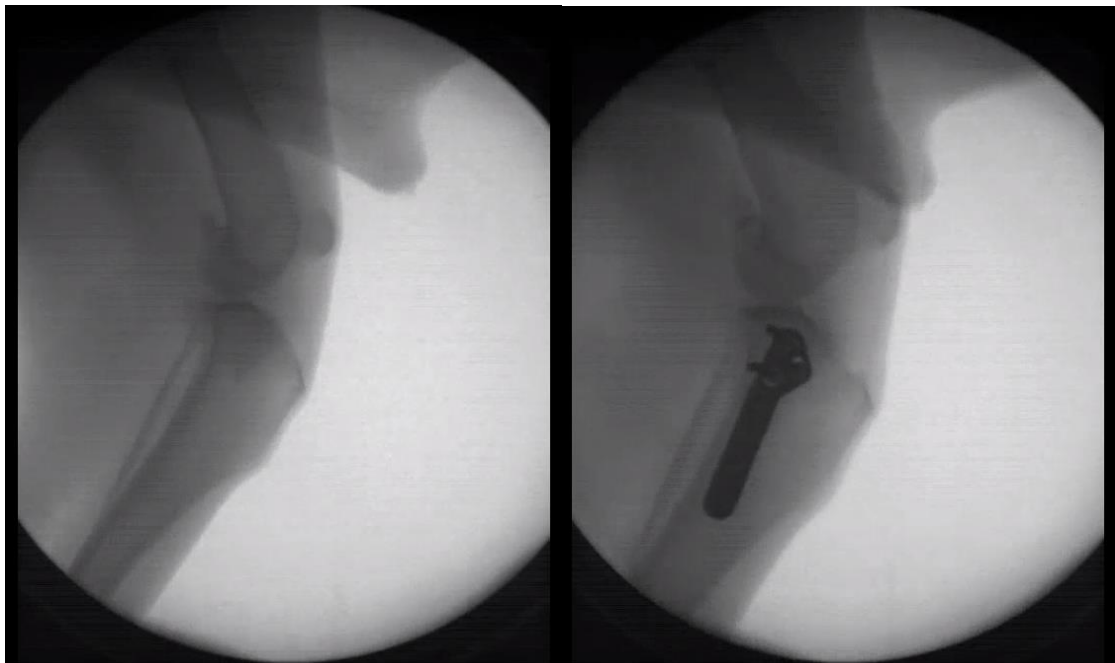


Abbildung 20: Standbilder der fluoroskopischen Kinematografie eines linken Kniegelenks vor und nach der TPLO

3.2.4 Vorbereitung der Patienten auf die Operation

Sowohl für die Arthroskopie als auch für die TPLO wurde eine Kombinationsanästhesie durchgeführt. Zur Prämedikation wurde Medetomidin in einer Dosierung von 5 - 10 µg/kg Körpergewicht intramuskulär verabreicht. Nach ca. 15 Minuten erfolgte die Narkoseeinleitung mit 0,5 mg/kg Körpergewicht Diazepam, 0,25 - 0,5 mg/kg Körpergewicht L-Methadon und 3 - 5 mg/kg Körpergewicht Ketamin i.v.. Bei Bedarf erhielten die Patienten i.v. Propofol nach Wirkung bis zur Intubationsfähigkeit. Nach der endotrachealen Intubation wurde die Narkose mit 1,5 - 2 % Isofluran in einem Sauerstoff-Luft-Gemisch als Trägergas aufrechterhalten. Zur Unterstützung der Analgesie wurde eine extradurale Anästhesie mit 1 ml Mepivacain 2 % pro 20 cm Scheitel-Steißlänge durchgeführt sowie 4 mg/kg Körpergewicht Carprofen bzw. 2 mg/kg Körpergewicht Robenacoxib zusätzlich s.c. injiziert. Während der Narkoseeinleitung wurde zur perioperativen Antibiose Cefazolin in der Dosierung von 22 mg/kg Körpergewicht alle 90 Minuten i.v. verabreicht. Die betroffene Hintergliedmaße wurde für die Arthroskopie von der Mitte der Tibia bis zur Mitte des Femurs im kranialen Bereich und je eine Hand breit nach medial und lateral geschoren. Für die TPLO wurde die Schur nach medial und distal bis zum Tarsalgelenk erweitert. Das Operationsfeld wurde zunächst mittels Wundbenzin (Benzinum DAB) entfettet und im Anschluss mit einem alkoholbasierten Desinfektionsmittel (Bode Sterillium) mehrfach desinfiziert. Die Lagerung der Patienten auf dem Operationstisch erfolgte in Rücklage, wobei die Gliedmaße mit einer Lagerungshilfe (Multifunktionsarm Manfrotto inkl. Limb Brace Attachment) frei schwebend fixiert wurde, sodass Beugung und Streckung des Kniegelenks möglich waren (Abbildung 21).



Abbildung 21: Lagerung des Patienten für die Arthroskopie des linken Kniegelenks

3.2.5 Operative Versorgung

3.2.5.1 Arthroskopie

Für jedes Kniegelenk wurde eine Arthroskopie zur Evaluierung des Meniskusstatus durchgeführt. Nach aseptischer Vorbereitung erfolgte das Anbringen des Leipziger Kniegelenk-Distraktors (KARL STORZ GmbH & Co. KG, Tuttlingen) von medial mit Hilfe zweier gewindeter Steinmannnägeln. Es folgte eine Punktion des Kniegelenks und Gewinnung von Synovia. Im Anschluss wurde physiologische Kochsalzlösung intraartikulär injiziert. Nach erneuter Gelenkpunktion von medial im oberen Drittel zwischen Patella und Tuberositas tibiae erfolgte eine Stichinzision mittels Skalpell (Skalpellklinge Nr. 11). Der entstandene mediale Zugang wurde mit einer Arterienklemme geweitet und im Anschluss bei gestrecktem Kniegelenk der Arthroskopschaft mit einem Durchmesser von 4,0 mm inklusive stumpfen Obturator (KARL STORZ GmbH & Co. KG, Tuttlingen) in den Sulcus intercondylaris unterhalb der Patella eingeführt. Es wurde ein Arthroskop mit einer 30° Hopkins Vorausblick-Optik mit einem Durchmesser von 4,0 mm (KARL STORZ GmbH & Co. KG, Tuttlingen) im zuvor eingebrachten Arthroskopschaft positioniert und das Kniegelenk bei vorsichtigem Zurückziehen des Arthroskopes gebeugt, sodass die Optik im Bereich der Fossa interkondylaris

zu liegen kam. Ein lateraler, parapatellarer Zugang im oberen Drittel des Gelenks wurde, wie oben beschrieben, vorgenommen. Der infrapatellare Fettkörper wurde mittels Shaver (Powershaver SL, KARL STORZ GmbH & Co. KG, Tuttlingen) entfernt. Das Gelenk wurde mit Hilfe des zuvor angebrachten Kniegelenkdistraktors geöffnet und die intraartikulären Strukturen adspektorisch und palpatorisch mit Hilfe eines Palpationshakens untersucht. Die rupturierten Kreuzbandfasern wurden mit Hilfe des Shavers entfernt und das Gelenk gespült. Bei Vorliegen eines Meniskusschadens im Sinne eines Korbhenkelrisses wurde eine Teilmeniskektomie mit einem Messer und/oder einer Meniskusstanze durchgeführt. Nach Beendigung des intraartikulären Eingriffs wurden die Gelenkkapsel, die Unterhaut und die Haut mit Einzelheften verschlossen und 1,5 mg/kg Körpergewicht Mepivacain im Sinne einer intraartikulären Analgesie injiziert.

3.2.5.2 TPLO

Zehn bis 14 Tage nach der Arthroskopie wurde die Tibial Plateau Leveling Osteotomy wie unter 2.3.3 bereits beschrieben durchgeführt. Der Zugang zur proximalen Tibia erfolgte von medial. Die radiologisch bestimmten Messpunkte wurden mit Hilfe eines bipolaren Elektroauters auf die proximale Tibia übertragen. Es wurde eine inkomplette Osteotomie mittels biradiärer Säge (De Sautter Slocum Saw, DE SAUTTER MEDICAL, Aston Clinton, United Kingdom) entlang der Messpunkte durchgeführt. Hierfür wurde kein Jig verwendet. Anders als in der Literatur empfohlen, wurde ein postoperativer TPA von 0° angestrebt. Nach Rotation des proximalen Tibiafragmentes entsprechend des zuvor markierten Bogenmaßes erfolgte die Fixation mittels speziellen für diese Operationsmethode hergestellten 3,5 mm TPLO-Platten (ORTHOMED, West Yorkshire, United Kingdom; PORTE VET, Grosseto Prugna, Frankreich; GRUPPO BIOIMPIANTI, Mailand, Italien; SYNTHES GmbH, Oberdorf, Schweiz) und entsprechenden Kortikalisschrauben sowie winkelstabilen Schrauben, je nach Implantat. Der Wundverschluss erfolgte in drei Schichten unter Reinsertion des Pes anserinus superficialis.

3.2.6 Postoperative radiologische Untersuchung

Alle Kniegelenke wurden analog der präoperativ angefertigten Röntgenaufnahmen unmittelbar sowie sechs bis acht Wochen nach TPLO radiologisch untersucht. Es wurde erneut der TPA wie beschrieben gemessen (Abbildung 22). Aus der Differenz der prä- und postoperativen Messung ergab sich der tatsächliche Rotationswinkel des proximalen Tibiafragmentes.



Abbildung 22: Messung des postoperativen Tibiaplateauwinkels
Bei diesem Patienten beträgt der postoperative TPA 0°.

Die Dickenmessung des Lig. patellae erfolgte erneut sechs bis acht Wochen postoperativ (Abbildung 23).

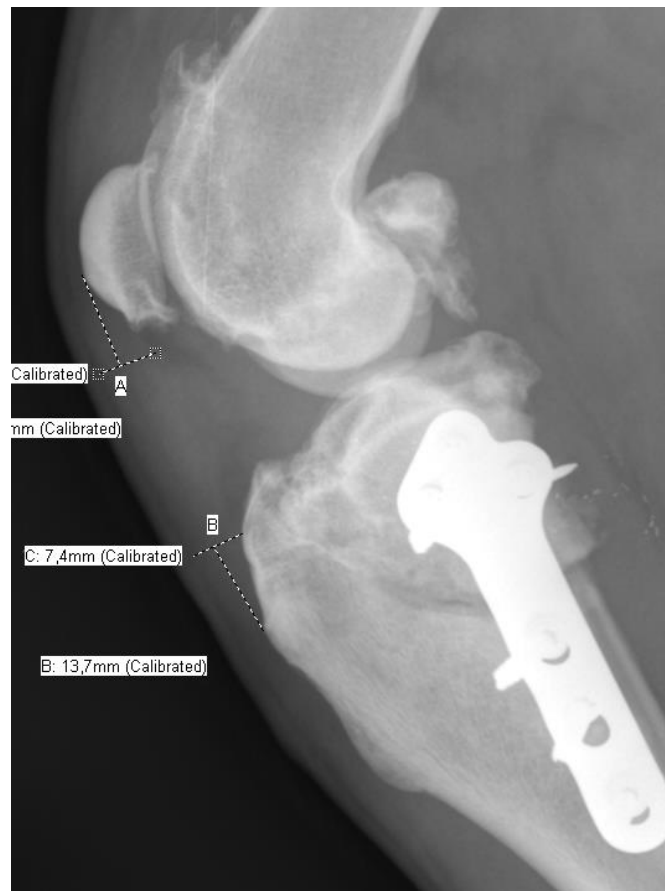


Abbildung 23: Postoperative Messung des Ligamentum patellae an der mediolateralen Röntgenaufnahme

Die Breite des Lig. patellae beträgt am proximalen Punkt 8,3 und am distalen Punkt 7,4 mm.

Es wurde außerdem die Strecke vom Ansatz des Lig. patellae bis zum Sägeschnitt senkrecht zur Crista tibiae gemessen. Dies diente der Bestimmung der kraniokaudalen Ausdehnung der Tuberositas tibiae nach der Osteotomie.

3.2.7 Nachsorge

Unmittelbar postoperativ wurde die Operationswunde mit einer sterilen Kompresse und einem Pflaster abgedeckt. Der Tibiakompressionstest wurde zur Beurteilung der klinischen Kniegelenksstabilität noch in Narkose nach der TPLO durchgeführt. Sowohl die Arthroskopie als auch die TPLO erfolgten ambulant. Die Patienten erhielten zur postoperativen Analgesie

entweder Carprofen 4 mg/kg Körpergewicht oder Robenacoxib 1 - 2 mg/kg per os (alle 24 Stunden über weitere sieben bis zehn Tage). Die Patientenbesitzer wurden dazu angehalten ihre Tiere bis zur Kontrolluntersuchung sechs bis acht Wochen nach der Operation streng ruhig zu halten. Ein Antibiotikum wurde nicht routinemäßig verabreicht.

3.2.8 Kontrolle sechs bis acht Wochen post operationem

Die Kontrolluntersuchung wurde sechs bis acht Wochen postoperativ klinisch-orthopädisch nach Untersuchungsprotokoll, radiologisch und fluoroskopisch-kinematografisch, wie bereits beschrieben, durchgeführt.

3.2.9 Statistik

Die statistische Analyse wurde mit dem Programm EViews 8.0 (IHS Global Inc., Kalifornien, USA) durchgeführt. Die Erstellung der Grafiken erfolgte ebenfalls mit diesem Programm.

Die Normalverteilung der Daten wurde mit dem Jarque-Bera-Test überprüft. Unterschiede in Alter und Körpergewicht der Patienten in der retrospektiven und prospektiven Gruppe wurden mit Hilfe eines klassischen T-Tests zum Vergleich von Mittelwerten evaluiert. Dieser Test wurde außerdem zur Beurteilung des Anteils (entspricht dem Mittelwert einer dichotomen Grundgesamtheit) stabiler bzw. instabiler Kniegelenke in den beiden Gruppen herangezogen.

Die Werte für den prä- und postoperativen TPA, den Rotationswinkel, die Dicke der Patellarsehne und die kraniokaudale Ausdehnung der Tuberositas tibiae nach der Osteotomie wurden als Medianwerte angegeben.

Für den Vergleich der retrospektiven und der prospektiven Gruppe in Bezug auf den prä- und postoperativen TPA, den Rotationswinkel, die Dickenzunahme des Lig. patellae sowie die kraniokaudale Ausdehnung der Tuberositas tibiae nach der Osteotomie wurde der Wilcoxon-Mann-Whitney-Test zum Vergleich von Medianen angewendet. Mit Hilfe dieses Tests wurden außerdem Unterschiede zwischen den Gruppen der stabilen und der instabilen Kniegelenke bezüglich des prä- und postoperativen TPA sowie des Rotationswinkels beurteilt. Die Unabhängigkeit der Eigenschaft Meniskusteilresektion (MTR) von der Eigenschaft Stabilität wurde mit Hilfe eines χ^2 -Unabhängigkeitstests untersucht. Dieser Test wurde

ebenfalls zur Identifikation eines Schwellenwertes für den postoperativen TPA in Bezug auf die Stabilität herangezogen.

Für den Jarque-Bera-Test, den t-Test, den Wilcoxon-Mann-Whitney-Test und den χ^2 -Unabhängigkeitstest wurde das Signifikanzniveau α auf 5 % festgelegt.

Der Zusammenhang der Dickenzunahme des Lig. patellae sowohl proximal als auch distal mit dem postoperativen TPA, dem Rotationswinkel und der kraniokaudalen Ausdehnung der Tuberositas tibiae nach der Osteotomie wurde mit einer linearen Regression untersucht. Für den Zusammenhang der Stabilität mit dem postoperativen TPA wurde eine binäre Regression unter verschiedenen Verteilungsannahmen durchgeführt und zusätzlich am Beispiel der logistischen Verteilung die Odds-Ratio angegeben. Diese diente auch der Evaluierung des Einflusses eines postoperativen TPA $\leq 4^\circ$ bzw. $> 4^\circ$.

Für statistisch signifikante Unterschiede wurden zudem die Mittelwertdifferenz sowie das Konfidenzintervall ergänzt.

4 ERGEBNISSE

Es wurden insgesamt 37 Kniegelenke untersucht. Davon wurden die Daten für 21 Kniegelenke von 19 Hunden retrospektiv und für 16 Kniegelenke von 15 Hunden prospektiv analysiert.

4.1 Retrospektive Studie

4.1.1 Patienten

Es wurden Hunde der Rassen Labrador Retriever (4), weißer Schäferhund (1), schwarzer russischer Terrier (1), Bullmastiff (1), Weimaraner (1), Beagle (1), Old English Bulldog (1), Rottweiler (1), Engl. Bulldogge (1), Leonberger (1), Dalmatiner (1) sowie Mischlingshunde (5) untersucht. Von den 19 untersuchten Tieren waren 11 weiblich und 8 männlich. Zum Zeitpunkt der Operation betrug das durchschnittliche Alter der Patienten 5,0 Jahre (2 - 12 Jahre). Das durchschnittliche Körpergewicht der Hunde lag bei 35,2 kg (18 - 56,4 kg).

4.1.2 Klinische Befunde

Alle Hunde zeigten zum Zeitpunkt der Vorstellung eine unilaterale Lahmheit der betroffenen Gliedmaße. Es handelte sich hierbei um 12 linke und 9 rechte Hintergliedmaßen. Alle Patienten waren zum Zeitpunkt der Untersuchung ohne analgetische Behandlung, sodass die tatsächliche Ausprägung der Lahmheit uneingeschränkt erfasst werden konnte. Eine Graduierung der Lahmheit wurde für die Patienten der retrospektiven Gruppe sowohl prä- als auch postoperativ nicht dokumentiert. Alle Kniegelenke wiesen vor und nach der TPLO einen positiven Schubladentest auf.

4.1.3 Arthroskopische Befunde

Bei allen Patienten wurde arthroskopisch ein kompletter vorderer Kreuzbandriss diagnostiziert. Alle Kniegelenke wiesen chronisch degenerative Veränderungen im Sinne von Knorpelschäden und Synovialitis unterschiedlicher Ausprägung auf. Bei 12 von 21 Kniegelenken (57,14 %) wurde eine Teilmenishektomie aufgrund einer Pathologie des medialen Meniskus durchgeführt.

4.1.4 TPLO

Es wurde ein postoperativer TPA von 5° angestrebt. Präoperativ wurde ein Winkel von 21 - 32° (Median: 26°) gemessen. Postoperativ wurden Werte von -1 - 16° (Median: 5°) erhoben.

Die Differenz von präoperativem und postoperativem TPA wird im Folgenden als Rotationswinkel in ° bezeichnet. Der Wert dient der Veranschaulichung des Maßes der Änderung des Winkels während der Operation. Der Rotationswinkel betrug im Median 21° (12 - 31°).

Die kraniokaudale Ausdehnung der Tuberositas nach der Osteotomie konnte für 20 der 21 Kniegelenke in der mediolateralen Röntgenaufnahme gemessen werden. Diese betrug im Median 11,5 mm (6,6 - 19,8 mm).

4.1.5 Kranio-kaudale Stabilität

Bei allen untersuchten Kniegelenken konnten mindestens 3 Fußungsphasen beurteilt werden. Es zeigten sich 13 von 21 Kniegelenken (61,90 %) in der fluoroskopischen Kinematografie postoperativ stabil im Sinne des Ausbleibens einer sichtbaren kranio-kaudalen Translationsbewegung.

4.1.6 Dicke der Patellarsehne

Die Dicke der Patellarsehne wurde bei 20 von 21 Gelenken gemessen (Tabelle 2). Bei einem der Kniegelenke lag keine postoperative mediolaterale Röntgenaufnahme vor.

Tabelle 2: Dicke der Patellarsehne in mm, retrospektive Gruppe

Minima, Maxima und Medianwerte der Messung der Patellarsehne am proximalen und distalen Messpunkt vor und sechs bis acht Wochen nach TPLO in mm

	Prä OP	Post OP
Proximal	2,6 - 5,4 mm (Median: 3,5 mm)	3 - 10,6 mm (Median: 5,05 mm)
Distal	1,7 - 4,1 mm (Median: 2,8 mm)	2,5 - 13,3 mm (Median: 5,8 mm)

Alle Kniegelenke zeigten nach der TPLO eine Dickenzunahme des Lig. patellae. Diese betrug am proximalen Messpunkt im Median 1,6 mm (0,4 - 7,5 mm) und am distalen Messpunkt 3,0 mm (0,2 - 10,8 mm).

4.2 Prospektive Studie

4.2.1 Patienten

Es wurden Hunde der Rassen Labrador Retriever (6), Eurasier (1), Riesenschnauzer (1), Weimaraner (1), Beagle (1), Old English Bulldog (1), Rottweiler (1) sowie Mischlingshunde (4) untersucht. Von den 16 untersuchten Tieren waren 8 weiblich und 8 männlich. Zum Zeitpunkt der Operation betrug das durchschnittliche Alter der Patienten 5,0 Jahre (1 - 8 Jahre). Das durchschnittliche Körpergewicht der Hunde lag bei 31,2 kg (15 - 48,0 kg).

4.2.2 Klinische Befunde

Zum Zeitpunkt der Vorstellung zeigten alle Hunde eine unilaterale Lahmheit der betroffenen Gliedmaße. Es wurden 6 linke und 10 rechte Hintergliedmaßen untersucht. Die Angaben zum Grad der Lahmheit wurden für alle Kniegelenke zum Zeitpunkt der Operation und sechs bis acht Wochen postoperativ dokumentiert (Tabelle 3).

Tabelle 3: Häufigkeiten der Lahmheitsgrade 0 - 4 der Patienten der prospektiven Gruppe zum Zeitpunkt der Operation und sechs bis acht Wochen postoperativ

Klinik	OP	6 - 8 Wo
Lahmheit Grad 0	0	5
Lahmheit Grad 1	5	7
Lahmheit Grad 2	4	2
Lahmheit Grad 3	6	2
Lahmheit Grad 4	1	0
Median	2	1

Der tatsächliche Lahmheitsgrad konnte uneingeschränkt evaluiert werden, da die Patienten zum Zeitpunkt der Untersuchung keiner analgetischen Behandlung unterlagen.

Der Unterschied der Medianwerte für den Lahmheitsgrad vor und nach der Operation war signifikant (Wilcoxon-Mann-Whitney-Test, $p = 0,01$). Es wurde zusätzlich ein einseitiger t-Test für Mittelwertdifferenzen angewandt. Dieser besagt, dass die Mittelwerte postoperativ signifikant kleiner sind als präoperativ ($p = 0,00$). Nach der TPLO ist es also zu einer durchschnittlichen Verbesserung der Lahmheit gekommen.

Der Schubladentest fiel bei 11 von 16 Kniegelenken (68,75 %) positiv aus. Postoperativ war bei allen Kniegelenken ein positiver Schubladentest zu verzeichnen.

Der Tibiakompressionstest wurde bei 9 von 16 Kniegelenken (56,25 %) präoperativ als positiv gewertet. Postoperativ fiel dieser Test bei 4 von 16 Kniegelenken (25 %) weiterhin positiv aus.

4.2.3 Arthroskopische Befunde

Bei allen Patienten wurde arthroskopisch die Diagnose eines kompletten vorderen Kreuzbandrisses gestellt. Alle Kniegelenke wiesen chronisch degenerative Veränderungen im Sinne von Knorpelschäden und Synovialitis unterschiedlichen Ausmaßes auf. Eine Pathologie des medialen Meniskus lag bei 6 von 16 Kniegelenken (37,5 %) vor. Bei diesen Patienten wurde eine Teilmeniskektomie durchgeführt.

4.2.4 TPLO

Präoperativ wurde ein Winkel $17 - 32^\circ$ (Median: $25,5^\circ$) gemessen. Anders als in der retrospektiven Gruppe wurde in der prospektiven Gruppe ein postoperativer TPA von 0° angestrebt. Es wurden hierfür somit vermehrt Gradzahlen erhoben, die Richtung Null tendieren. Der postoperative TPA lag bei $0 - 6^\circ$ (Median 2°).

Der Rotationswinkel betrug im Median $24,5^\circ$ ($15 - 28^\circ$).

Bei allen 16 Kniegelenken konnte die kraniokaudalen Ausdehnung der Tuberositas tibiae nach der Osteotomie in der mediolateralen Röntgenaufnahme gemessen werden. Im Median betrug diese 14,2 mm ($6,6 - 18,6$ mm).

4.2.5 Kranio-kaudale Stabilität

Mindestens 3 Fußungsphasen konnten bei allen untersuchten Kniegelenken ausgewertet werden. 15 von 16 Kniegelenken (93,75 %) konnten in der fluoroskopischen Kinematografie postoperativ als stabil im Sinne des Ausbleibens einer kranio-kaudalen Translationsbewegung beurteilt werden.

4.2.6 Dicke der Patellarsehne

Die Dickenmessung der Patellarsehne wurde für alle 16 Kniegelenke durchgeführt (Tabelle 4).

Tabelle 4: Dicke der Patellarsehne in mm, prospektive Gruppe

Minima, Maxima und Medianwerte der Messung der Patellarsehne am proximalen und distalen Messpunkt vor und sechs bis acht Wochen nach TPLO in mm

	Prä OP	Post OP
Proximal	2,5 - 5,7 mm (Median: 3,50 mm)	3,4 - 12,6 mm (Median: 7,05 mm)
Distal	1,9 - 3,6 mm (Median: 2,75 mm)	3,2 - 16,4 mm (Median: 7,40 mm)

Eine Dickenzunahme des Lig. patellae war bei allen Kniegelenken nach der TPLO zu verzeichnen. Am proximalen Messpunkt betrug diese im Median 3,25 mm (0,9 - 8,3 mm) und am distalen Messpunkt 4,45 mm (1,3 - 12,9 mm).

4.3 Vergleichende Betrachtung

4.3.1 Meniskusteilresektion

Mit Hilfe des χ^2 -Unabhängigkeitstests wurde die Abhängigkeit der Variable Stabilität von der Variable Meniskusteilresektion für alle betrachteten Gelenke getestet. Es konnte kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen der kranio-kaudalen Stabilität postoperativ und einer Meniskusteilresektion beobachtet werden ($p = 0,63$).

4.3.2 Tibiaplateauwinkel

Die Verteilung des präoperativen TPA der Gesamtheit aller untersuchten Kniegelenke ist in Abbildung 24 grafisch dargestellt. Dieser lag bei 17 - 32° (Median: 26°). Die Nullhypothese gleicher Medianwerte für beide Gruppen konnte mit dem Wilcoxon-Mann-Whitney-Test nicht abgelehnt werden ($p = 0,76$). Der präoperative TPA zeigte sich somit in der retrospektiven und der prospektiven Gruppe annähernd gleich.

Zudem wurden die Werte für den präoperativen TPA für die Gruppe der stabilen und die Gruppe der instabilen Kniegelenke gegenübergestellt. Auch hier konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden (Wilcoxon-Mann-Whitney-Test, $p = 0,43$). Die Resultate des Kruskal-Wallis-Tests ($p = 0,42$) und des Van-der-Waerden-Tests ($p = 0,35$) unterstützen dieses Ergebnis. Der präoperative TPA spielt demnach keine Rolle für die postoperative Stabilität.

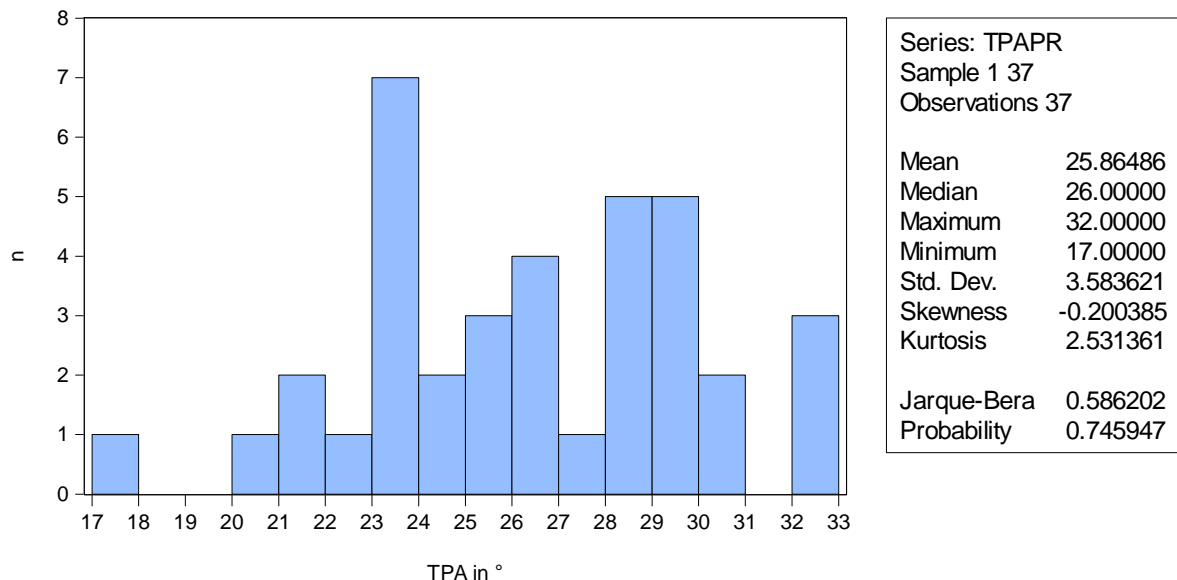


Abbildung 24: TPA präoperativ

Grafische Darstellung der Anzahl der Patienten mit dem jeweiligen TPA von 17 - 33°

Für die Gesamtheit der Patienten wurden postoperative TPA von -1 - 16° mit einem Medianwert von 4° gemessen (Abbildung 25). Die Medianwerte der retrospektiven und der prospektiven Gruppe wurden mit dem Wilcoxon-Mann-Whitney-Test verglichen. Es wurde ein signifikanter Unterschied im postoperativen TPA der beiden Gruppen festgestellt ($p = 0,01$, Mediandifferenz 3, Konfidenzintervall -5,00 - -1,00).

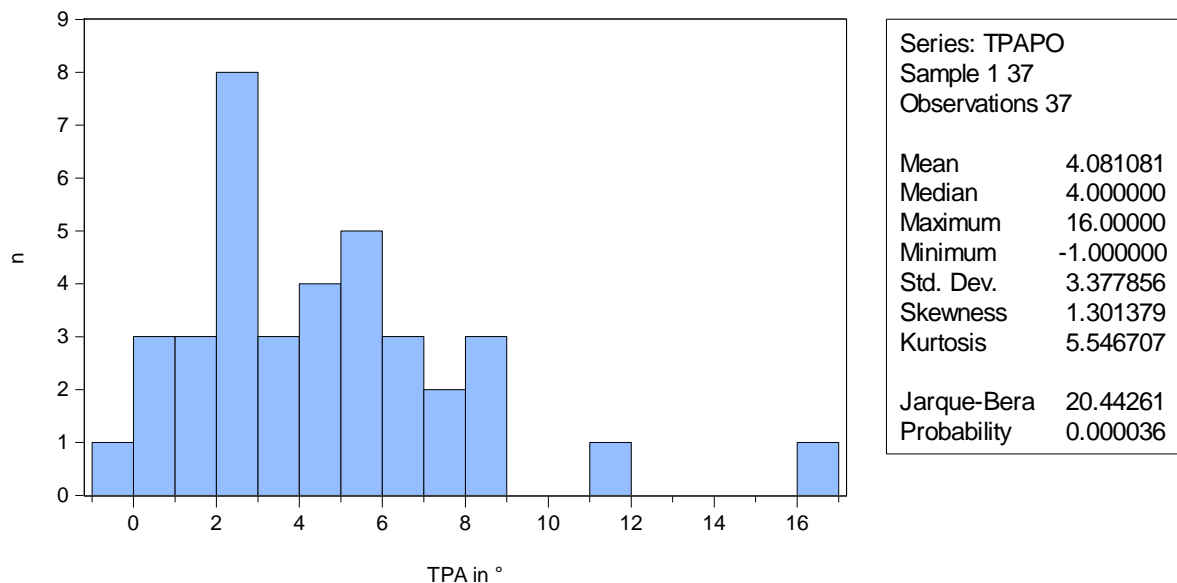


Abbildung 25: TPA postoperativ

Grafische Darstellung der Anzahl der Patienten mit dem jeweiligen TPA von $-1 - 16^\circ$

Eine binäre Regression, in der die Variable Stabilität auf die Variable postoperativer TPA regressiert wurde, ergab, dass die Wahrscheinlichkeit für eine Stabilität bei einem abnehmenden postoperativen TPA steigt. Diese Ergebnisse gelten unabhängig von der Verteilungsannahme innerhalb der Regression (Tabelle 5). Am Beispiel der logistischen Verteilung konnte eine Odds-Ratio von $e^{-0,26} = 0,77$ ermittelt werden. Wie aufgrund des negativen Koeffizienten zu erwarten war, kommt es bei einer Erhöhung des TPA um 1° durchschnittlich zu einer Reduktion der Wahrscheinlichkeit für das Auftreten der Stabilität um 0,23 %.

Tabelle 5: Ergebnisse der binären Regression der Variable Stabilität auf die Variable postoperativer TPA in Abhängigkeit von der Verteilungsannahme

Verteilungsannahme	Steigungsparameter	Standardfehler	t-Wert	p-Wert
Normalverteilung	-0,15	0,08	-1,98	0,05
Logistische Verteilung	-0,26	0,13	-1,93	0,05
Extremwertverteilung	-0,22	0,10	-2,12	0,03

Aufgrund der Empfehlung eines TPA von 5° aus der Literatur, wurde die Wahrscheinlichkeit für eine Instabilität bei TPA-Werten von $> 4^\circ$ mit Hilfe des χ^2 -Unabhängigkeitstests geprüft. Hierbei wurde eine binäre Variable definiert, die für einen postoperativen TPA $\leq 4^\circ$ den Wert 0

und für einen postoperativen TPA $> 4^\circ$ den Wert 1 annimmt. Es wurde die Unabhängigkeit dieser Variable von der Variable Stabilität geprüft. Hierbei konnte kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen der Stabilität und einem postoperativen TPA unter oder über 4° ermittelt werden ($p = 0,29$).

Aus Interesse an einer Tendenz, wurde zudem eine binäre Regression durchgeführt, in der die Variable Stabilität auf die neu definierte binäre Variable regressiert wurde. Diese ergab, dass bei Überschreitung des Winkels von 4° die Wahrscheinlichkeit für eine Stabilität geringer ist (Steigungskoeffizient: $-0,81$; Odds-Ratio: $0,44$; Verteilung: logistisch). Dieses Ergebnis war, im Einklang mit dem Ergebnis des χ^2 -Unabhängigkeitstests, nicht signifikant ($p = 0,30$). Auch hier waren die Ergebnisse unabhängig von der Verteilungsannahme innerhalb der Regression (Normalverteilung, logistische Verteilung und Extremwertverteilung).

Zur Identifikation eines anderen Schwellenwertes für den postoperativen TPA in Bezug auf die Stabilität wurde ebenfalls der χ^2 -Unabhängigkeitstest, mit entsprechend neu konstruierten binären Variablen für den postoperativen TPA, für Winkel von $0 - 5^\circ$ angewendet (Tabelle 6). Hier konnte ebenfalls kein statistisch signifikanter Zusammenhang für die jeweiligen Winkel oder eine Tendenz zu einem der Werte hin ermittelt werden.

Tabelle 6: Ergebnisse des χ^2 -Unabhängigkeitstests zur Identifikation eines Schwellenwertes für den postoperativen TPA in Bezug auf die Stabilität

Postoperativer TPA in $^\circ$	p-Wert
0	0,23
1	0,49
2	0,20
3	0,29
4	0,29
5	0,18

4.3.3 Rotationswinkel

Die Verteilung des Rotationswinkels der Gesamtheit aller untersuchten Kniegelenke ist in Abbildung 26 grafisch dargestellt. Diese lag im Median bei 22° ($12 - 31^\circ$). Der Unterschied der

prospektiven und retrospektiven Gruppe bezüglich des Rotationswinkels war signifikant (Wilcoxon-Mann-Whitney-Test, $p = 0,04$, Mediandifferenz $3,5^\circ$, Konfidenzintervall $0,00 - 6,00$).

In der Gruppe der stabilen Kniegelenke betrug der Rotationswinkel im Median 22° ($13 - 27^\circ$) und in der Gruppe der instabilen Kniegelenke im Median 21° ($12 - 31^\circ$). Es gab keinen signifikanten Unterschied der Rotationswinkel zwischen diesen beiden Gruppen (Wilcoxon-Mann-Whitney-Test, $p = 0,42$). Es kann davon ausgegangen werden, dass der Rotationswinkel keinen Einfluss auf die postoperative Kniegelenksstabilität nach TPLO hat.

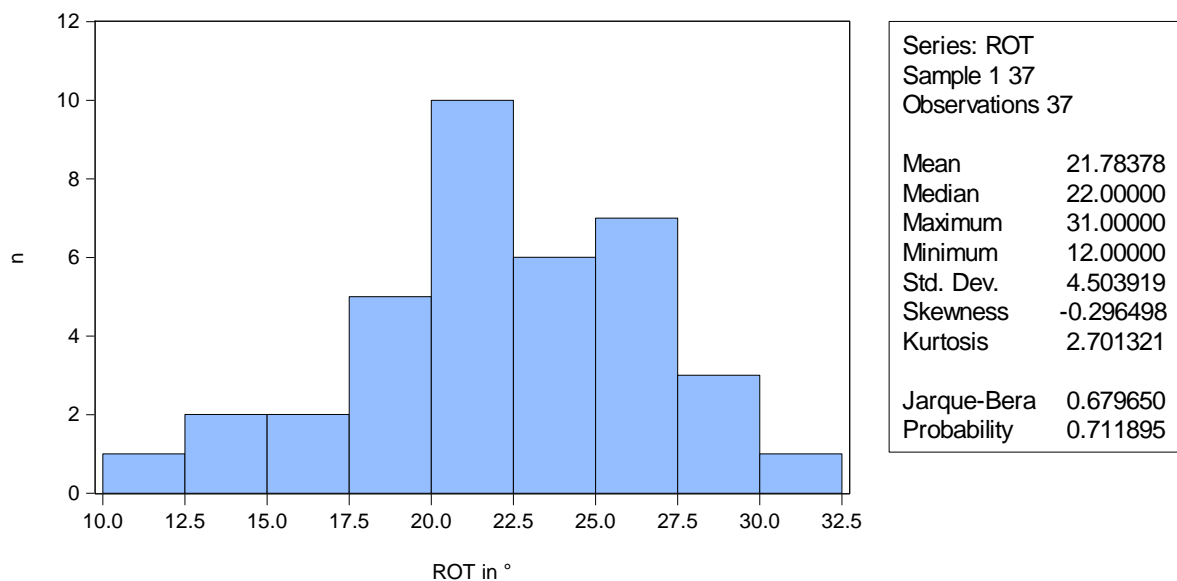


Abbildung 26: Rotationswinkel (ROT in °)

Grafische Darstellung der Anzahl der Patienten mit der jeweiligen Änderung des TPA von $12 - 31^\circ$

4.3.4 Tuberositas tibiae

Die kraniokaudale Ausdehnung der Tuberositas tibiae nach der Osteotomie konnte für 35 der 37 Kniegelenke in der mediolateralen Röntgenaufnahme gemessen werden. Diese betrug insgesamt im Median $12,3 \text{ mm}$ ($6,6 - 19,8 \text{ mm}$). Der Unterschied zwischen der retrospektiven und der prospektiven Gruppe war auch hier signifikant (Wilcoxon-Mann-Whitney-Test, $p = 0,01$, Mediandifferenz $2,7 \text{ mm}$, Konfidenzintervall $1,10 - 5,50$).

Aufgrund der stärkeren Verdickung im distalen Bereich und der Nähe zum Osteotomiespalt wurde der Zusammenhang der Dickenzunahme des Lig. patellae am distalen Messpunkt mit der Tuberositas tibiae untersucht. Es wurde eine lineare Regression angewendet, in der die Variable der Dickenzunahme am distalen Messpunkt (DZLPD) auf die Variable Tuberositas tibiae (TT) regressiert wurde (Abbildung 27). Hierbei ergab sich eine Tendenz zu einer

stärkeren Dickenzunahme des Lig. patellae bei kleinerer kraniokaudaler Ausdehnung der Tuberositas tibiae, jedoch kein signifikanter Zusammenhang (Steigungsparameter $-0,08$, $p = 0,54$). Bei Erhöhung der TT um 1 mm kommt es hiernach zur Abnahme der Dicke der Sehne um durchschnittlich 0,08 mm.

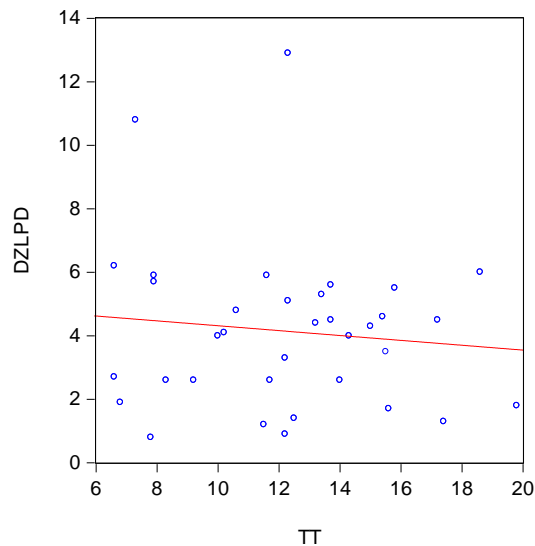


Abbildung 27: Zusammenhang der Dickenzunahme des Lig. patellae am distalen Messpunkt (DZLPD) und der kraniokaudalen Ausdehnung der Tuberositas tibiae (TT) nach der Osteotomie

Die Grafik zeigt, dass bei einer schmalen Tuberositas tibiae tendenziell eine stärkere Verdickung des Lig. patellae vorliegt.

4.3.5 Kranio-kaudale Stabilität

Insgesamt zeigten sich 28 von 37 Kniegelenken (75,68 %) in der fluoroskopischen Kinematografie postoperativ stabil. Vergleicht man die Ergebnisse bezüglich der kraniokaudalen Kniegelenksstabilität beider Gruppen mit Hilfe des t-Tests, fällt ein signifikanter Unterschied ($p = 0,02$, Konfidenzintervall $0,07 - 0,65$, Konfidenzintervall $0,07 - 0,56$) auf. In der prospektiven Gruppe konnten somit mehr stabile Kniegelenke erzielt werden als in der retrospektiven Gruppe.

4.3.6 Dicke der Patellarsehne

Die Werte für die Dickenmessung des Lig. patellae der Gesamtheit aller untersuchten Kniegelenke sind in Tabelle 7 gelistet.

Tabelle 7: Dicke der Patellarsehne in mm

Minima, Maxima und Medianwerte der Messung der Patellarsehne am proximalen und distalen Messpunkt vor und sechs bis acht Wochen nach TPLO in mm

	Prä OP	Post OP
Proximal	2,5 - 5,7 mm (Median: 3,5 mm)	3 - 12,6 mm (Median: 7,05 mm)
Distal	1,7 - 4,1 mm (Median: 2,75 mm)	12,6 - 16,4 mm (Median: 7,4 mm)

Alle Kniegelenke zeigten nach der TPLO eine Dickenzunahme des Lig. patellae. Diese ist für den proximalen Messpunkt in Abbildung 28 und für den distalen Messpunkt in Abbildung 29 grafisch dargestellt. Diese betrug am proximalen Messpunkt im Median 2,1 mm (0,4 - 8,3 mm) und am distalen Messpunkt 4,05 mm (0,2 - 12,9 mm). Somit war am distalen Messpunkt eine signifikant andere Dickenzunahme (Wilcoxon-Mann-Whitney-Test, $p = 0,00$, Mediandifferenz 1,95, Konfidenzintervall 0,50 - 2,30) als am proximalen Messpunkt zu verzeichnen. Aufgrund der Medianwerte kann von einer stärkeren Verdickung des Lig. patellae am distalen Messpunkt ausgegangen werden.

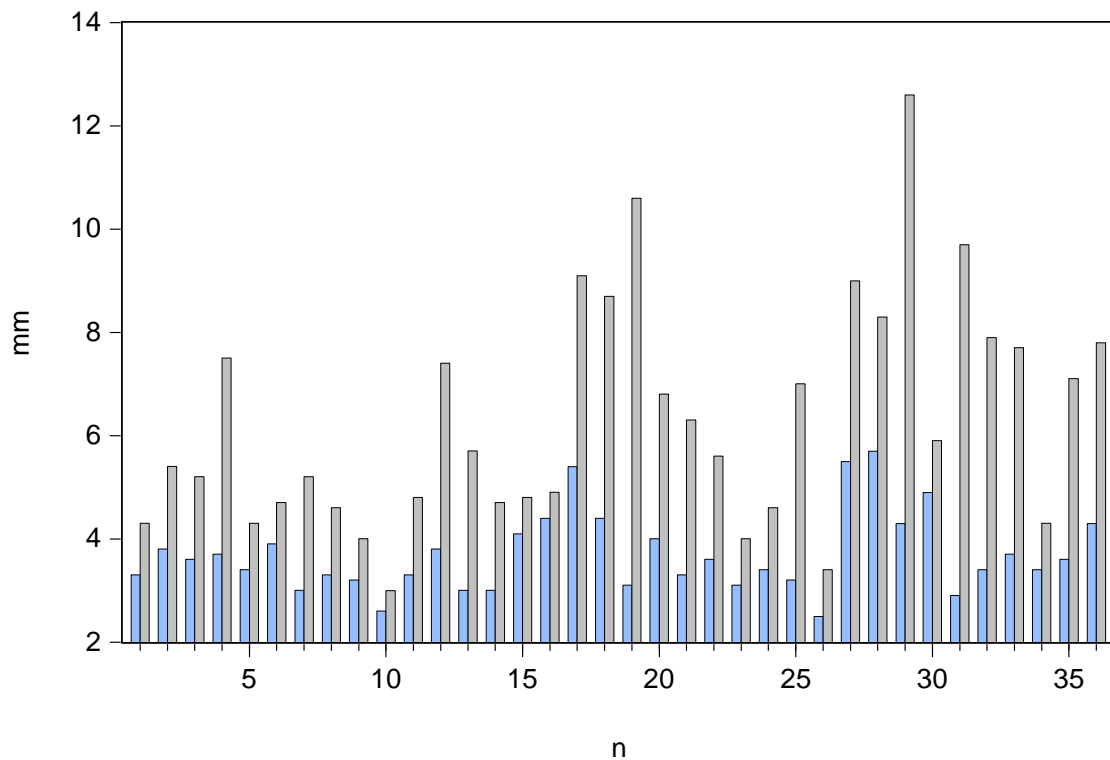


Abbildung 28: Dickenzunahme des Lig. patellae am proximalen Messpunkt (DZLPP)

Die Grafik zeigt die Dicke des Lig. patellae prä- (blau) und postoperativ (grau) am proximalen Messpunkt, gemessen in mm.

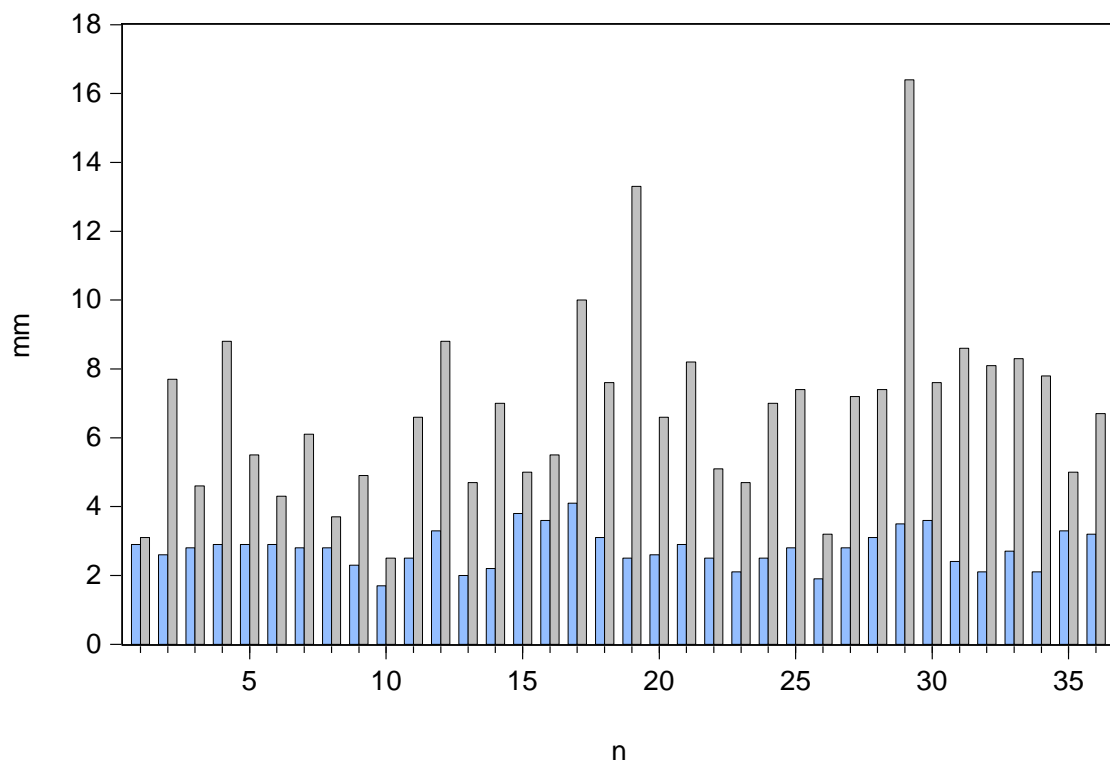


Abbildung 29: Dickenzunahme des Lig. patellae am distalen Messpunkt (DZLPD)

Die Grafik zeigt die Dicke des Lig. patellae prä- (blau) und postoperativ (grau) am distalen Messpunkt, gemessen in mm.

Bezüglich der Dickenzunahme des Lig. patellae konnten Unterschiede zwischen den retrospektiv und prospektiv untersuchten Kniegelenken festgestellt werden. Der Unterschied zwischen den beiden Gruppen wurde mit Hilfe des Wilcoxon-Mann-Whitney-Tests evaluiert und war sowohl für den proximalen ($p = 0,13$) als auch für den distalen Messpunkt ($p = 0,13$) nicht signifikant.

Der Zusammenhang der Verdickung des Lig. patellae sowohl am proximalen als auch am distalen Messpunkt mit dem postoperativen TPA wurde mit Hilfe einer linearen Regression analysiert (Abbildung 30). Bei einem niedrigeren postoperativen TPA zeigte sich eine signifikante Zunahme der Verdickung des Lig. patellae an beiden Messpunkten mit einem Steigungsparameter proximal von $-0,22$ und distal von $-0,28$ (proximal: $p = 0,02$, Konfidenzintervall $-0,40 - 0,04$; distal: $p = 0,03$, Konfidenzintervall $0,52 - 0,05$). Wird der TPA also um 1° gesenkt, so verdickt sich das Lig. patellae durchschnittlich um $0,22$ mm proximal und $0,28$ mm distal.

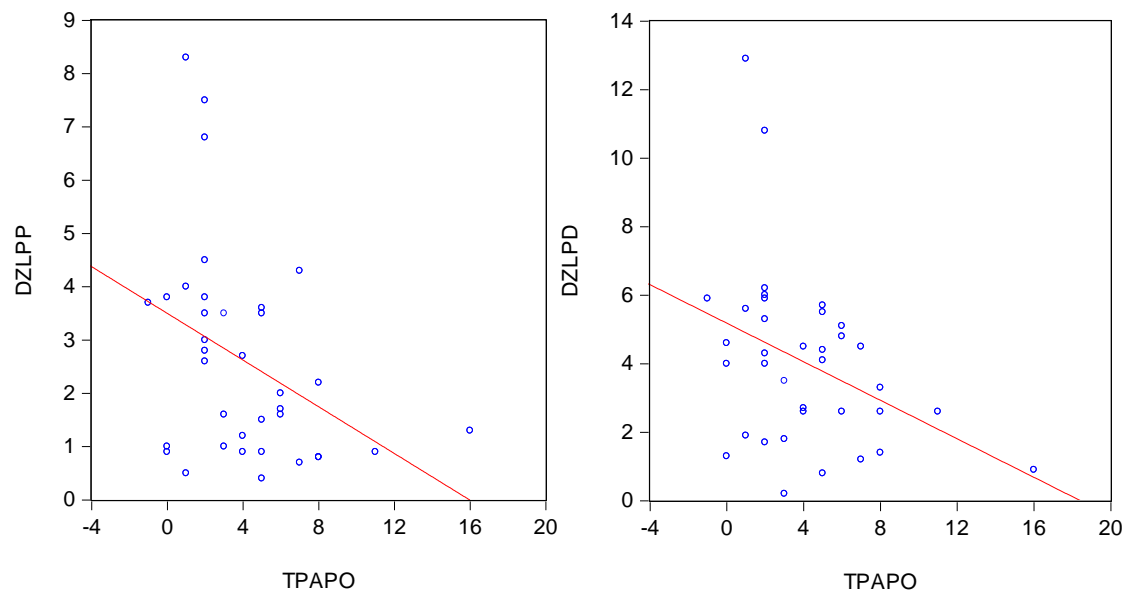


Abbildung 30: Zusammenhang der Dickenzunahme des Lig. patellae am proximalen (DZLPP) und am distalen Messpunkt (DZLPD) mit dem postoperativen TPA (TPAPO)

Die Grafiken zeigen eine tendenzielle Dickenzunahme an beiden Messpunkten bei einem niedrigen postoperativen TPA. Am distalen Messpunkt zeigt sich generell eine stärkere Dickenzunahme als proximal.

Mit Hilfe einer weiteren linearen Regression wurde der Zusammenhang zwischen dem Rotationswinkel als Veränderung des TPA und der Dickenzunahme des Lig. patellae an beiden Messpunkten untersucht (Abbildung 31).

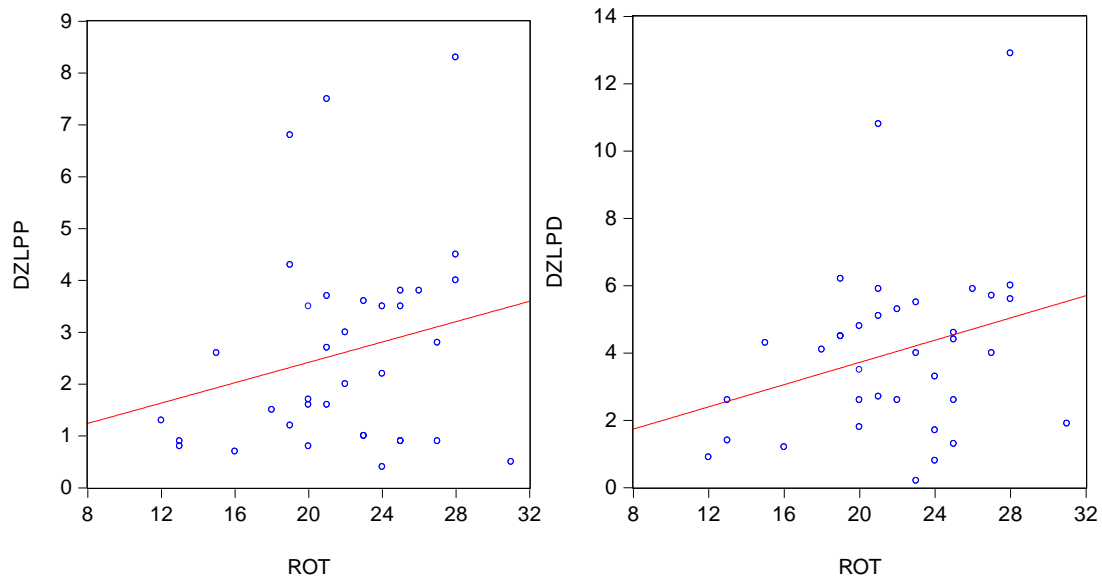


Abbildung 31: Zusammenhang der Dickenzunahme des Lig. patellae am proximalen (DZLPP) und am distalen Messpunkt (DZLPD) mit dem Rotationswinkel (ROT)

Die Grafiken zeigen eine stärkere Dickenzunahme an beiden Messpunkten bei einem hohen Rotationswinkel. Am distalen Messpunkt zeigt sich erneut eine stärkere Dickenzunahme als proximal.

Je größer der Rotationswinkel, desto stärker zeigte sich auch die Dickenzunahme der Patellarsehne an beiden Messpunkten. Am proximalen Messpunkt lag der Steigungsparameter bei 0,10 und am distalen Messpunkt bei 0,17. Wird der Rotationswinkel also um 1° erhöht, verdickt sich das Lig. patellae durchschnittlich um 0,1 mm proximal und 0,17 mm distal. Diese Dickenzunahme ist nicht statistisch signifikant (proximal: $p = 0,18$; distal: $p = 0,09$).

5 DISKUSSION

5.1 Methodik

Die in der vorliegenden Arbeit untersuchten Tiere stammten aus dem Patientengut der Klinik für Kleintiere der Universität Leipzig und somit aus Privatbesitz. Die Pathologien der untersuchten Kniegelenke waren real und nicht artifiziell herbeigeführt. Es wurde eine Gruppe retrospektiv ausgewerteter Gelenke mit einer Gruppe prospektiv untersuchter Patienten verglichen. Die Anzahl der Probanden in beiden Gruppen war vergleichbar und das Rassespektrum heterogen verteilt. Alter und Körpergewicht waren normalverteilt und nicht signifikant unterschiedlich, sodass beide Gruppen als vergleichbar angesehen werden können.

Als Limitation der vorliegenden Studie ist vor allem die Gruppengröße zu nennen. Die Ergebnisse hier werden aufgrund ihrer Größe vor allem durch die retrospektiv ausgewertete Gruppe dominiert. Außerdem wurde ausschließlich bei den Patienten der prospektiv untersuchten Gruppe eine klinisch orthopädische Untersuchung vor und sechs bis acht Wochen nach der Operation dokumentiert und entsprechend ausgewertet. Für eine statistische Analyse des Einflusses der unterschiedlichen Faktoren auf das klinische Ergebnis ist die Stichprobengröße daher nicht ausreichend. Die postoperative Evaluierung erfolgte einmalig zu einem Zeitpunkt innerhalb der Zeitspanne von sechs bis acht Wochen nach der Versorgung. Es war aufgrund der Notwendigkeit einer individuellen Terminvereinbarung mit dem Patientenbesitzer nicht möglich für alle Patienten den exakt gleichen Zeitpunkt für diese Untersuchung festzulegen oder zusätzliche Untersuchungen durchzuführen. Auch das klinische Langzeitergebnis wurde nicht dokumentiert.

Da die größte sichtbare kranio-kaudale Translationsbewegung bei einem vorderen Kreuzbandriss während der Standphase erfolgt (TINGA et al. 2018), wurde die Kinematik der Kniegelenke anhand von drei vollständigen Fußungsphasen beurteilt. Bei der Festlegung des Zeitpunkts der Fußung ist eine gewisse Subjektivität gegeben. Um Abweichungen zu minimieren wurde dies für alle Patienten vom gleichen Untersucher durchgeführt.

Die Untersuchung der Probanden erfolgte auf einem Laufband. Durch die ungewohnte Umgebung und Situation kann das Gangbild des Patienten hierbei beeinflusst werden (FREDRICSON et al. 1983, BUCHNER et al. 1994, TORRES et al. 2013). Um ein Gangbild zu erhalten, welches vom Gang auf ebenem Untergrund nicht zu unterscheiden ist, ist eine

gewisse Eingewöhnungsphase notwendig (VILENSKY et al. 1994a, VILENSKY et al. 1994b). In der Humanmedizin werden hierfür Zeiten von etwa sechs oder acht Minuten beschrieben (SCHIEB 1986, MATSAS et al. 2000). Für den Hund scheinen zwei Minuten zur Eingewöhnung ausreichend zu sein (OWEN et al. 2004). Aufgrund dessen wurde allen Probanden eine individuelle Eingewöhnungszeit von mindestens zwei Minuten eingeräumt. Die fluoroskopische Untersuchung wurde begonnen, wenn ein makroskopisch normales Gangbild zu sehen war. In einer Studie von BREBNER et al. (2006) wurden bei Vergleich des Führens der Tiere über eine Kraftmessplatte und dem Laufen auf einem Laufband ähnliche Bodenreaktionskräfte ermittelt. Eine weiterführende quantitative Ganganalyse mit Hilfe von Kraftmessplatten wurde in der vorliegenden Studie jedoch nicht vorgenommen. Makroskopisch nicht erkennbare dezente Veränderungen im Gangbild können daher übersehen worden sein. Die Patienten wurden in einer Geschwindigkeit zwischen 0,8 - 1,0 m/s untersucht. Weitere Gangarten wie Trab oder Galopp sowie intensivere Belastung wie Treppensteigen (KIM et al. 2015) wurden nicht evaluiert. Hier hätten sich eventuell Abweichungen bezüglich der Kniegelenkskinematik im Schritt ergeben können. Da der Versuchsaufbau und der Untersuchungsablauf hier für alle Patienten einheitlich waren, ist eine eventuelle Beeinflussung des Gangbildes durch das Laufen auf dem Laufband für alle Probanden gleichermaßen möglich. Die Vergleichbarkeit der Probanden bleibt daher gegeben.

Sowohl in vitro (WARZEE et al. 2001, KIM et al. 2009) als auch in vivo (KORVICK et al. 1994) konnte eine vermehrte Innenrotation der Tibia in Kniegelenken mit einer Ruptur des vorderen Kreuzbandes beobachtet werden. Es ist möglich, dass die TPLO auch diese Rotationsbewegung beeinflussen könnte. Da die fluoroskopische Kinematografie in der vorliegenden Arbeit uniplanar erfolgte, konnte ausschließlich die Bewegung in der Sagittalebene erfasst werden. Eine Aussage über die Rotationsbewegung im Kniegelenk nach der TPLO konnte nicht getroffen werden. Hierfür sind weiterführende fluoroskopische Studien nötig, in denen die dreidimensionale Bewegung des Kniegelenks in vivo qualitativ beurteilt werden kann. SCHAIBLE et al. (2017) beschreiben eine Kombination aus TPLO und lateraler Fadenzügeltechnik zur Therapie von Patienten mit einer ausgeprägten kranio-kaudalen Instabilität sowie Rotationsinstabilität des betroffenen Kniegelenks. Die Autoren erzielten mit dieser Methode gute klinische Ergebnisse, jedoch erfolgte keine quantitative Evaluierung der Rotationsinstabilität nach der Versorgung. Auch hierfür sind weitere Studien nötig.

5.2 Ergebnisse

5.2.1 Klinische Untersuchung

Alle Patienten zeigten vor der Operation eine unilaterale Lahmheit und klinische Symptome, die hinweisend für eine Ruptur des vorderen Kreuzbandes der betroffenen Gliedmaße waren. Es waren keine zusätzlichen Lahmheiten, keine Dolenz, Instabilität oder verminderte Beweglichkeit anderer Gelenke zum Zeitpunkt der initialen klinischen und der postoperativen fluoroskopischen Untersuchung zu verzeichnen. Andere Gelenkserkrankungen, wie beispielsweise eine beginnende vordere Kreuzbandpathologie der kontralateralen Gliedmaße, eine Hüftgelenksdysplasie oder eine Sprunggelenkserkrankung wurden klinisch, jedoch nicht radiologisch oder mit anderen diagnostischen Mitteln ausgeschlossen. Ihr Einfluss wurde aufgrund der fehlenden klinischen Symptomatik als minimal eingeschätzt.

Der Schubladentest wurde bei 68,75 % der Patienten präoperativ als positiv bewertet obwohl später bei allen Patienten arthroskopisch eine vollständige Ruptur des vorderen Kreuzbandes festgestellt wurde. Da der Test nicht bei allen Patienten unter Vollnarkose durchgeführt wurde, ist durch die anhaltende Muskelkontraktion eine Fehlinterpretation des Tests möglich. Da die Patienten bereits radiologisch deutliche chronisch-degenerative Gelenkveränderungen aufwiesen, ist außerdem eine gewisse Verdickung der Gelenkkapsel, die zu einer Stabilisierung des Gelenks führt, möglich. In einer Studie von TASHMAN et al. (2004) wurden Hunde mit einem artifiziellen vorderen Kreuzbandriss nach zwei Jahren mit Hilfe der Röntgenvideokinematografie untersucht. Die Autoren konnten eine Abschwächung der kranio-kaudalen Translationsbewegung und eine persistierende leichte Subluxation der Tibia feststellen. Diese Veränderungen aufgrund längerfristig bestehender Symptomatik können zu Schwierigkeiten bei der Interpretation des Tests führen. Postoperativ war der Schubladentest bei allen Patienten in Vollnarkose positiv, sodass klinisch für alle Probanden eine komplette Ruptur des vorderen Kreuzbandes nachgewiesen werden konnte.

Zur Beurteilung der Kniegelenksstabilität ist der Schubladentest bei dynamischen Operationsmethoden nicht geeignet. Aussagekräftiger dahingehend ist der Tibiakompressionstest, da er der Simulation der vertikalen Kraftübertragung dient. Dieser war postoperativ bei vier Patienten weiterhin positiv, obwohl sich keines der Kniegelenke als fluoroskopisch instabil erwies. Wiederum fiel der Tibiakompressionstest bei dem Kniegelenk,

welches sich in der Bewegung fluoroskopisch als instabil erwies, postoperativ negativ aus. Dieses Ergebnis lässt an der Durchführbarkeit und Verlässlichkeit des Tests zweifeln. Bei leichter Innen- oder Außenrotation kann es bereits zur Fehlinterpretation kommen, da hierbei nicht ausschließlich die kranio-kaudale Kniegelenksstabilität, sondern die Rotationsstabilität beurteilt wird. Zudem ist die durch den Tibiakompressionstest erzeugte Bewegung der Tibia nach kranial geringer als beim Schubladentest, sodass diese von unerfahrenen Untersuchern eventuell übersehen werden kann. Der Tibiakompressionstest sollte daher zur Kontrolle des Therapieerfolges mit Vorsicht interpretiert werden.

5.2.2 Meniskusteilresektion

Meniskuspathologien treten häufig sekundär zu einer vorderen Kreuzbandruptur beim Hund auf. Im Rahmen einer Insuffizienz des vorderen Kreuzbandes nimmt die Wahrscheinlichkeit einer Meniskusläsion wöchentlich um 2,6 % zu (HAYES et al. 2010). Bei insgesamt 18 Kniegelenken der vorliegenden Arbeit wurde eine Teilmeniskektomie aufgrund einer Pathologie des medialen Meniskus durchgeführt. Es ist kontraindiziert bei einem intakten medialen Meniskus im Rahmen der TPLO einen Meniskuseinschnitt vorzunehmen (POZZI et al. 2006, POZZI et al. 2008b, LUTHER et al. 2009). Die Möglichkeit der iatrogenen Beschädigung des medialen Meniskus bei der Identifikation des medialen Gelenkspaltes im Rahmen der TPLO ist jedoch gegeben (O'BRIEN und MARTINEZ 2009). In der vorliegenden Studie wurde die Operationsmethode ohne Markierung des Gelenkspaltes oder Eröffnung des Gelenks durchgeführt, sodass eine iatrogene Verletzung des Meniskus nicht möglich war. Da die Menisken neben den Kreuzbändern als intraartikuläre Stabilisatoren des Gelenks fungieren, wurde angenommen, dass eine Meniskusteilresektion ebenfalls einen Einfluss auf die postoperative Kniegelenksstabilität haben könnte, dies konnte jedoch nicht statistisch belegt werden. Die klinische Bedeutung einer Meniskuspathologie wurde in dieser Studie nicht untersucht. Da alle Kniegelenke ausschließlich in der Sagittalebene untersucht wurden, konnte eine möglicherweise vermehrte Innenrotation der Tibia nach einer Meniskusteilresektion nicht evaluiert werden. Hierfür sind ebenfalls weiterführende Studien notwendig.

5.2.3 Tibiaplateauwinkel

Die Werte für den präoperativen TPA waren in beiden Gruppen ohne signifikanten Unterschied, sodass von einer präoperativen Vergleichbarkeit der Patienten ausgegangen werden kann. Auch unter den stabilen und instabilen Kniegelenken gab es in den präoperativen TPA-Werten keinen signifikanten Unterschied. Ein besonders steiler präoperativer TPA an sich hat demnach keinen Einfluss auf die postoperative Stabilität. Dieses Ergebnis deckt sich mit dem einer Studie von ROBINSON et al. (2006). Sie untersuchten langfristig die Bodenreaktionskräfte von 32 Labrador Retrievern vier Monate oder über vier Monate nach einer TPLO bei postoperativen TPA von 0 - 14°. Die Autoren konnten keinen Zusammenhang der Gliedmaßenfunktion mit dem TPA feststellen.

Die Daten der retrospektiv ausgewerteten Patientengruppe stammen zum Teil aus dem Patientengut der Arbeit von REY et al. (2014). Im Rahmen dieser Untersuchung wurde das Bewegungsmuster des Kniegelenks bei vollständigem vorderen Kreuzbandriss mit dem gesunder Tiere mit Hilfe der fluoroskopischen Kinematografie verglichen. Hierbei wurde die Kniegelenksinstabilität als kaudale Rutschbewegung des distalen Femurs in Relation zum Tibiaplateau beschrieben. Eine solche Instabilität beobachteten REY et al. (2014) bei 35 % der operierten Kniegelenke nach TPLO. Die Beurteilung der kranio-kaudalen Instabilität erfolgte in der vorliegenden Arbeit, wie bei REY et al. (2014), rein qualitativ durch zwei unabhängige Untersucher. Eine quantitative Messung der Bewegung war nicht Teil der Studie. In der retrospektiven Gruppe waren 38,1 % der Kniegelenke instabil, was dem Ergebnis von REY et al. (2014) annähernd entspricht und sich ebenfalls mit den Erkenntnissen von KIM et al. (2012) deckt. Die Patienten der retrospektiven Gruppe wurden zwischen 2009 und 2013 operativ versorgt und dabei der in der Literatur beschriebene postoperative TPA von 5° angestrebt (BOUDRIEAU 2009). Im Ergebnis lag der durchschnittliche TPA bei 5° (-1 - 16°). Da zu vermuten war, dass die Höhe des postoperativen TPA einen Einfluss auf die postoperative Kniegelenksstabilität haben könnte, wurde bei den Gelenken der prospektiven Studie, die zwischen 2014 und 2015 operiert wurden, ein postoperativer TPA von 0° angestrebt. Daraus resultierte ein durchschnittlicher TPA von 2° (0 - 6°). Von diesen 16 Kniegelenken waren 15 postoperativ stabil (93,75 %). Die Hypothese, dass bei einem hohen postoperativen TPA die Wahrscheinlichkeit für eine kranio-kaudale Instabilität steigt konnte statistisch belegt werden. Aufgrund der kleinen Stichprobenanzahl war es jedoch nicht möglich einen Schwellenwert für

den postoperativen TPA in Bezug auf die kranio-kaudale Stabilität festzulegen oder eine Tendenz zu einem bestimmten Wert hierfür aufzuzeigen.

Da das kaudale Kreuzband nach einer TPLO als Hauptstabilisator im Kniegelenk wirkt (WARZEE et al. 2001) wurde ein erhöhtes Risiko für eine Schädigung dessen bei einer Korrektur des TPA auf weniger als 5° beschrieben (WARZEE et al. 2001, BOUDRIEU 2009). In einer Studie von BROWN et al. (2014) wurde die Auswirkung der Veränderung des TPA auf die Biomechanik des Kniegelenks nach der TPLO mit Hilfe einer Computersimulation analysiert. Das vordere Schubladenphänomen wurde bei Überkorrektur des TPA in ein hinteres Schubladenphänomen umgekehrt, was wiederum zu einer vermehrten Belastung des hinteren Kreuzbandes führen kann. PRIDDY et al. (2003) stellten sogar bei einem postoperativen TPA von -7° noch keine Ruptur des kaudalen Kreuzbandes fest. HULSE et al. (2010) hingegen führten bei 17 Kniegelenken mit partiellem und 46 Kniegelenken mit komplettem vorderen Kreuzbandriss eine Second-Look-Arthroskopie nach Versorgung mit einer TPLO durch. Bei den Patienten mit partiellem vorderen Kreuzbandriss stellten sich die intraartikulären Strukturen annähernd normal dar, während bei den Patienten mit vollständigem vorderen Kreuzbandriss eine leichte Auffaserung des kaudalen Kreuzbandes bei 32 und eine komplette Ruptur des kaudalen Kreuzbandes bei drei der 46 Kniegelenke sichtbar war. Diese drei Kniegelenke wiesen postoperative TPA von 0, 7 und 10° auf, sodass kein Zusammenhang des Winkels mit einer Ruptur des kaudalen Kreuzbandes zu bestehen scheint. Die klinische Relevanz dieser Befunde wurde in den genannten Studien ebenfalls nicht untersucht. Aktuelle Langzeitstudien zur klinischen Relevanz einer Überbelastung des kaudalen Kreuzbandes nach einer TPLO, speziell bei einem postoperativen TPA von unter 5°, liegen nicht vor. Es ist daher davon auszugehen, dass eine Schädigung des kaudalen Kreuzbandes nach einer TPLO gut kompensiert werden kann und keine nennenswerten klinischen Symptome verursacht.

5.2.4 Rotationswinkel

Es wurde angenommen, dass auch ein hoher Rotationswinkel, sprich eine starke Veränderung des TPA, einen Einfluss auf die postoperative Kniegelenksstabilität haben kann. Dieser war für die Patienten in der prospektiven Gruppe signifikant größer, da aufgrund des kleineren angestrebten postoperativen TPA das proximale Tibiafragment stärker rotiert werden musste. Es zeigte sich jedoch kein signifikanter Unterschied in den Rotationswinkeln beider Gruppen.

Das Maß der Veränderung des TPA scheint demnach, im Gegensatz zum postoperativen TPA als Resultat der Rotation, keine Bedeutung für die postoperative Kniegelenksstabilität zu haben.

5.2.5 Dicke der Patellarsehne

Die postoperative Dickenmessung des Lig. patellae erfolgte ebenfalls einmalig zu einem Zeitpunkt von sechs bis acht Wochen nach der Versorgung. Auch hier konnte aus genannten Gründen kein einheitlicher Zeitpunkt gewählt werden. Eine weitere Messung konnte ebenfalls nicht durchgeführt werden, da nicht für alle Probanden weitere Röntgenaufnahmen angefertigt wurden. Aufgrund dessen ist eine Beurteilung der Entwicklung der Verdickung über eine längere Zeit postoperativ nicht möglich.

Eine Dickenzunahme des Lig. patellae konnte postoperativ bei allen Kniegelenken beobachtet werden. Wie bereits von MATTERN et al. (2006) beschrieben, zeigte das Lig. patellae auch in der vorliegenden Arbeit am distalen Messpunkt eine stärkere Dickenzunahme als proximal. Dieser Unterschied war signifikant.

Zwischen der prospektiven und der retrospektiven Gruppe konnte kein signifikanter Unterschied bezüglich der Verdickung des Lig. patellae festgestellt werden.

In der Studie von CAREY et al. (2005) wird die Retraktion des Lig. patellae während der Operation ebenfalls als mögliche Ursache für eine Verdickung genannt. Dies wurde bei den im Rahmen der vorliegenden Arbeit versorgten Patienten nicht durchgeführt, sodass eine solche Retraktion hier keine Ursache für die Verdickung des Lig. patellae darstellt.

In einer Kadaverstudie von JOHNSON et al. (2016) wurde die Vaskularisierung des Lig. patellae nach verschiedenen Operationsmethoden zur Kniegelenksstabilisierung untersucht. Mit Hilfe einer Kontrastmitteluntersuchung konnte festgestellt werden, dass die Gefäßversorgung der proximalen Tibia sowie des Lig. patellae vor allem medial besonders ausgeprägt ist. Die Autoren konnten eine deutlich schlechtere Blutgefäßversorgung des Lig. patellae nach den Osteotomiemethoden und insbesondere bei Kombination derer mit einer medialen Arthrotomie beobachten. Durch die Traumatisierung des medial gelegenen Weichteilgewebes sowie des Periosts im Rahmen des medialen Zugangs zur proximalen Tibia kommt es zur Zerstörung der dort gelegenen Gefäße. Dies und die daraus folgende Neovaskularisierung

werden als Ursache für eine Tendinose der Patellarsehne in der Humanmedizin diskutiert (GISSLEN und ALFREDSON 2005). Die Autoren empfehlen zur Schonung der Blutgefäßversorgung das Periost der medialen proximalen Tibia so gut wie möglich intakt zu belassen und bei Durchführung einer medialen Arthrotomie die Ausdehnung dieser nach distal, wenn möglich, zu limitieren. Aufgrund des minimalinvasiven Charakters wurde in der vorliegenden Studie eine Arthroskopie der Kniegelenke vorgenommen. Während der TPLO wurde das Weichteilgewebe weitestgehend geschont und das Periost der medialen Tibia intakt belassen. Dennoch ist eine durch den Zugang bedingte Hypovaskularisierung der medialen proximalen Tibia sowie des Lig. patellae als Ursache für eine Verdickung weiterhin denkbar. Da es sich um eine klinische Studie handelte, konnten zur Evaluierung der Blutgefäßversorgung des Lig. patellae keine histologischen Untersuchungen angefertigt werden.

In der vorliegenden Arbeit wurden die klinischen Auswirkungen der postoperativen Verdickung des Lig. patellae nicht untersucht. Eine Möglichkeit zur weiteren Abgrenzung einer symptomlosen reinen Verdickung zu einer symptomatischen Desmitis stellt die Sonografie dar. Eine Korrelation histologischer und sonografischer Veränderungen des Lig. patellae im Sinne einer Desmitis konnte für den Menschen und das Pferd beschrieben werden (KING et al. 1990, CRASS et al. 1992, KHAN et al. 1996). Die typischen histologischen Befunde umfassen eine mukoide Degeneration, lokale Zerreißen der kollagenen Fasern und das Vorhandensein von Granulationsgewebe (KING et al. 1990, KHAN et al. 1996, FREDBERG und BOLVIG 2002). Anzeichen einer Entzündung können histologisch nur bei akuten Sehnenverletzung beobachtet werden (CRASS et al. 1992). Im gesunden kaninen Kniegelenk stellt sich das Lig. patellae sonografisch homogen hyperechogen dar, der Verlauf der kollagenen Fasern ist parallel und es ist von einer dünnen, vermehrt echogenen Scheide umgeben. In der transversalen Ebene ist das Lig. patellae oval oder dreieckig geformt und von homogener Echotextur (REED et al. 1995, KRAMER et al. 1999). In der Studie von MATTERN et al. (2006) wurde das Lig. patellae von 31 Kniegelenken nach einer TPLO radiologisch und sonografisch untersucht. Es wurden zum Teil nur dezente Verdickungen mit minimalen Zerreißen der kollagenen Fasern im Zentrum, aber auch stark verdickte Patellarsehnen dargestellt, die zentrale anechogene Läsionen mit vollständigem Verlust des kollagenen Fasermusters aufwiesen. In dieser Studie erfolgte ebenfalls keine Korrelation der Befunde mit den klinischen Symptomen der Patienten. Weiterführende ultrasonografische Studien unter

Einbeziehung der Klinik könnten Aufschluss über die Relevanz der in der vorliegenden Arbeit erhobenen Messwerte liefern.

Bei der Untersuchung des Einflusses der kraniokaudalen Ausdehnung der Tuberositas tibiae nach der Osteotomie auf die Verdickung des Lig. patellae konnte aufgrund der unzureichenden Stichprobengröße nur eine Tendenz zur stärkeren Dickenzunahme bei einer schmalen Tuberositas tibiae, aber kein statistisch signifikanter Einfluss beschrieben werden.

Die thermische Reizung des Lig. patellae wird als Ursache für diese Verdickung diskutiert (CAREY et al. 2005, MATTERN et al. 2006). Hypothetisch ist die Hitzeentwicklung während der Osteotomie im Bereich des Lig. patellae aufgrund der Nähe zur Säge bei einer schmalen kraniokaudalen Ausdehnung der Tuberositas tibiae größer. BACHELEZ und MARTINEZ (2012) untersuchten die Hitzeentwicklung am Knochen während der Osteotomie bei einer TPLO mit zwei unterschiedlichen Sägeblättern. Es konnte festgestellt werden, dass diese bei Benutzung eines dünneren Sägeblattes mit feinen Zähnen geringer ist als bei Benutzung eines dickeren, größeren Sägeblattes. Des Weiteren zeigte sich, dass die gezielte Spülung des Osteotomiebereichs während des Sägens die Hitzeentwicklung senkt. Eine Temperatur von $\geq 47^{\circ}\text{C}$ und eine Dauer des Sägens von \geq einer Minute wurden als kritische Werte für die klinische Manifestation eines thermischen Schadens im Knochen festgelegt. Diese Schwellenwerte wurden für keine der Osteotomien erreicht, sodass fraglich bleibt, ob der beim Sägen produzierte thermische Reiz für die Heilung des Knochens und das Weichteilgewebe überhaupt relevant ist. Die Autoren empfehlen dennoch die Benutzung eines möglichst dünnen Sägeblattes mit feinen Zähnen und die Spülung des Osteotomiebereichs während des Sägens, um die Hitzeentwicklung im Operationsgebiet möglichst gering zu halten.

Eine mechanische Reizung des Lig. patellae durch die Tuberositas tibiae nach der Osteotomie bei Flexion des Kniegelenks ist ebenso denkbar. Im gesunden Kniegelenk befindet sich Knorpel direkt kaudal des Ansatzes des Lig. patellae, welcher außerdem durch die Osteotomie zerstört wird. CAREY et al. (2005) beschreiben eine weit kranial gelegene Osteotomie als Risikofaktor für eine distale Verdickung. Bei einer solchen kranialen Osteotomie läuft die Tuberositas tibiae spitz zu, wodurch eine Reizung der Patellarsehne bei Flexion des Gelenks eher in Frage kommen würde, als bei einer kaudaleren Osteotomie. Folgt man dieser Theorie, wäre eine Möglichkeit zur Prävention dieses Reizes das Rundfeilen der Tuberositas tibiae nach der

Osteotomie sowie, wie bereits von MATTERN et al. (2006) empfohlen, das zentrale Positionieren der Osteotomie.

In einer Studie von DESANDRE-ROBINSON et al. (2017) wurde eine Vermessung des Lig. patellae präoperativ sowie drei und sechs Wochen nach TTA und TPLO durchgeführt. Hierfür wurden zwei Messpunkte bestimmt. Der proximale Messpunkt wurde im Abstand von einem Zentimeter zur Patellaspitze und der distale Messpunkt im Abstand von einem Zentimeter zur Tuberositas tibiae festgelegt. In dieser Studie lag eine Verdickung der Patellarsehne zum Zeitpunkt von sechs Wochen nach der TPLO bei 97 % der Kniegelenke vor. Die Autoren zeigten außerdem, dass bei einem niedrigen postoperativen TPA ein höheres Risiko für eine Verdickung des Lig. patellae besteht. Sie konnten einen Schwellenwert für den postoperativen TPA in Bezug auf die Verdickung des Lig. patellae bei $< 7^\circ$ festlegen. Dies war in der vorliegenden Arbeit nicht möglich. In der genannten Studie zeigte sich bei der TTA bereits zwischen der ersten und zweiten Messung postoperativ eine Abnahme dieser Verdickung. Diese war bei der TPLO nicht zu verzeichnen. Die Autoren empfahlen eine Anpassung der Messmethode an die Größe des individuellen Patienten im Rahmen weiterer Studien. Aufgrund dessen erfolgte die Identifikation der beiden Messpunkte für die Dickenmessung in der vorliegenden Arbeit anhand einer Unterteilung der Gesamtlänge des Lig. patellae. Die mit dieser Messmethode erhobenen Ergebnisse der Studie unterstützen die Ergebnisse der Arbeit von DESANDRE-ROBINSON et al. (2017). Zum Zeitpunkt von sechs bis acht Wochen post operationem waren 100 % der gemessenen Patellarsehnen verdickt und der Einfluss des postoperativen TPA konnte ebenfalls bestätigt werden.

Im Gegensatz zur Kniegelenksstabilität wird die Dickenzunahme des Lig. patellae außerdem von der Stärke der Veränderung des TPA, also dem Rotationswinkel, beeinflusst. Bei einer starken Rotation zeigte sich ebenso eine starke Verdickung des Bandes an beiden Messpunkten, die nicht signifikant war, wobei für den distalen Messpunkt das Signifikanzniveau nur knapp verfehlt wurde. Bei einer größeren Stichprobenanzahl hätte hier gegebenenfalls ein signifikantes Ergebnis erzielt werden können. MATTERN et al. (2006) und BOUDRIEAU (2009) vermuteten als Ursache hierfür eine stärkere Belastung des Ligaments nach der TPLO aufgrund der veränderten Biomechanik.

5.3 Schlussfolgerung

Bei einer Änderung des TPA auf 0° statt 5° konnten fluoroskopisch postoperativ mehr stabile Kniegelenke beobachtet werden. Eine Meniskusteilresektion scheint keinen Einfluss auf die postoperative kranio-kaudale Kniegelenksstabilität in der Bewegung zu haben. Die Verdickung des Lig. patellae konnte bei allen Kniegelenken nach der TPLO beobachtet werden. Diese ist bei starker Rotation und niedrigem postoperativen TPA vor allem distal ausgeprägt. Die kraniokaudale Ausdehnung der Tuberositas tibiae nach der Osteotomie scheint einen Einfluss auf die Verdickung des Lig. patellae zu haben, sodass eine zentrale Positionierung der Osteotomie angestrebt werden sollte.

6 ZUSAMMENFASSUNG

Pia Lina Rebentrost

Fluoroskopisch-kinematografische Beurteilung der kranio-kaudalen Kniegelenksstabilität nach Tibial Plateau Leveling Osteotomy (TPLO)

Klinik für Kleintiere der Veterinärmedizinischen Fakultät der Universität Leipzig

Eingereicht im August 2018

99 Seiten, 31 Abbildungen, 7 Tabellen, 267 Literaturangaben

Schlüsselwörter: vorderer Kreuzbandriss – Tibial Plateau Leveling Osteotomy – kranio-kaudale Instabilität – fluoroskopische Ganganalyse – Ligamentum patellae – Hund – in vivo

Einleitung: Der vordere Kreuzbandriss ist die häufigste Lahmheitsursache der Hintergliedmaße beim Hund und führt zu einer Kniegelenksinstabilität im Sinne einer kranio-kaudalen Translationsbewegung. Die Tibial Plateau Leveling Osteotomy (TPLO) ist eine der populärsten Operationsmethoden zur dynamischen Stabilisierung des kaninen Kniegelenks nach einer Ruptur des vorderen Kreuzbandes. Postoperativ kommt es bei Anwendung dieser Technik häufig zu einer Verdickung des Ligamentum patellae (Lig. patellae). Diese kann asymptomatisch sein, aber auch mit einer Lahmheit und Druckdolenz im Sinne einer Tendinose einhergehen.

Ziele der Untersuchungen: Die Ziele der vorliegenden Arbeit waren die Bestimmung der Prävalenz einer kranio-kaudalen Instabilität des kaninen Kniegelenks bei kompletter Ruptur des vorderen Kreuzbandes vor und nach der TPLO sowie die Bestimmung der Prävalenz und Risikofaktoren einer Verdickung des Ligamentum patellae bei diesen Gelenken.

Tiere und Methoden: Insgesamt wurden 37 Kniegelenke mit einer kompletten vorderen Kreuzbandruptur untersucht. Dabei wurden die Daten von 21 Kniegelenken retrospektiv ausgewertet und für 16 Kniegelenke prospektiv erhoben. Zur Sicherung der Diagnose und Beurteilung der Menisken wurden alle Kniegelenke zehn bis 14 Tage vor der Stabilisierung arthroskopiert. War eine Meniskuspathologie vorhanden, wurde eine Teilmeniskektomie durchgeführt. In der retrospektiven Gruppe wurde im Rahmen der TPLO ein postoperativer Tibiaplateauwinkel (TPA) von 5° und in der prospektiven Gruppe von 0° angestrebt. Die Patienten wurden präoperativ und im Zeitraum von sechs bis acht Wochen nach einer TPLO mit Hilfe der uniplanaren fluoroskopischen Kinematografie auf einem Laufband untersucht. Es

erfolgte eine visuelle, quantitative Auswertung der entstandenen Videosequenzen durch zwei unabhängige Untersucher, wobei eine sichtbare kranio-kaudale Translationsbewegung als Kniegelenksinstabilität gewertet wurde. Zusätzlich wurde eine Vermessung zur Beurteilung der postoperativen Verdickung des Ligamentum patellae bei 36 der 37 Kniegelenke an einem proximalen und einem distalen Messpunkt durchgeführt. Diese Messung erfolgte ebenfalls präoperativ und im Zeitraum von sechs bis acht Wochen nach der TPLO.

Ergebnisse: Insgesamt waren 28 von 37 Kniegelenken in der Sagittalebene stabil (75,68 %). In der prospektiven Gruppe traten signifikant häufiger stabile Kniegelenke auf ($p = 0,02$). Der postoperative TPA war in der prospektiven Gruppe signifikant kleiner als in der retrospektiven Gruppe ($p = 0,01$). Die Wahrscheinlichkeit der Stabilität steigt bei niedrigem postoperativen TPA an (Steigungsparameter $-0,22$, $p = 0,03$). Es konnte kein statistisch signifikanter Einfluss des Rotationswinkels auf die Kniegelenksstabilität festgestellt werden ($p = 0,42$). Zwischen Meniskusteilresektion und postoperativer Stabilität konnte ebenfalls kein statistisch signifikanter Zusammenhang ermittelt werden ($p = 0,63$). Bei allen Kniegelenken fand nach der TPLO eine Verdickung des Lig. patellae statt. Diese war am distalen Messpunkt stärker als proximal ($p = 0,00$). Zwischen den beiden Gruppen war kein signifikanter Unterschied bezüglich der Dickenzunahme der Patellarsehne zu verzeichnen ($p = 0,13$). Bei einem niedrigeren postoperativen TPA zeigte sich eine signifikante Zunahme der Verdickung des Lig. patellae an beiden Messpunkten (proximal: $p = 0,02$; distal: $p = 0,03$). Es zeigte sich außerdem eine tendenziell stärkere Dickenzunahme am distalen Messpunkt bei einer schmalen Tuberositas tibiae (Steigungsparameter $-0,08$, $p = 0,54$) und an beiden Messpunkten bei einem hohen Rotationswinkel (Steigungsparameter $0,10$, proximal: $p = 0,18$; distal: $p = 0,09$).

Schlussfolgerung: Da in der prospektiven Gruppe ein postoperativer TPA von 0° angestrebt wurde, wurden auch signifikant kleinere TPA und mehr stabile Kniegelenke als in der retrospektiven Gruppe erzielt. Der Rotationswinkel und die Meniskusteilresektion haben keinen Einfluss auf die kranio-kaudale Kniegelenksstabilität nach einer TPLO. Bei allen Kniegelenken fand eine Verdickung des Lig. patellae postoperativ statt, die am distalen Messpunkt stärker war. Einen Risikofaktor dafür stellt ein niedriger postoperativer TPA dar. Die kranio-kaudale Ausdehnung der Tuberositas tibiae nach der Osteotomie und der Rotationswinkel scheinen einen Einfluss auf die Entwicklung einer solchen Verdickung zu haben. Für die Beurteilung der klinischen Relevanz dessen sind weiterführende Studien notwendig.

7 SUMMARY

Pia Lina Rebentrost

Fluoroscopic-cinematographic assessment of cranio-caudal stifle joint stability after tibial plateau leveling osteotomy (TPLO)

Department of Small Animal Medicine, Faculty of Veterinary Medicine, University of Leipzig

Submitted in August 2018

99 pages, 31 figures, 7 tables, 267 references

Keywords: cranial cruciate ligament rupture – Tibial Plateau Leveling Osteotomy – cranio-caudal joint instability – fluoroscopic gait analysis – patellar ligament – dog – in vivo

Introduction:

The anterior cruciate ligament rupture is the most common lameness cause of the hind limb in the dog and subsequently leads to a stifle joint instability in the sense of a cranio-caudal translational movement. The Tibial Plateau Leveling Osteotomy (TPLO) is one of the most popular surgical methods for the dynamic stabilization of the canine stifle joint after a rupture of the anterior cruciate ligament. Postoperatively, this technique often causes thickening of the patellar ligament. This may be asymptomatic, but may also be associated with lameness and pain at pressure in the sense of tendinosis.

Objective: The aim of the present study was to determine the prevalence of cranio-caudal instability of the canine stifle joint with complete rupture of the anterior cruciate ligament before and after TPLO and to determine the prevalence and risk factors of thickening of the patellar ligament in these joints.

Material and Methods: A total of 37 stifle joints with complete anterior cruciate ligament rupture were examined. The data from 21 stifle joints were evaluated retrospectively and collected prospectively for 16 stifle joints. To ensure diagnosis and for assessment of the menisci, all stifle joints were examined arthroscopically ten to 14 days prior to stabilization. If a meniscal pathology was present, a subtotal meniscectomy was performed. In the retrospective group TPLO aimed for a postoperative tibial plateau angle (TPA) of 5° and in the prospective group of 0°. Patients were examined on a treadmill preoperatively and six to eight weeks after TPLO using uniplanar fluoroscopic cinematography. There was a visual,

quantitative evaluation of the resulting video sequences by two independent investigators, with a visible cranio-caudal translational movement was assessed as joint instability. In addition, radiographic measurements were performed to assess the postoperative thickening of the patellar ligament in 36 of the 37 stifle joints at a proximal and distal measurement point. This was also performed preoperatively and in the period of six to eight weeks after TPLO.

Results: Overall, 28 out of 37 stifle joints were stable fluoroscopically in the sagittal plane (75.68 %). In the prospective group, stable stifle joints occurred significantly more frequently ($p = 0.02$). The postoperative TPA was significantly smaller in the prospective group than in the retrospective group ($p = 0.01$). Postoperative TPA was significantly lower than in the retrospective group ($p = 0.01$). The probability of joint stability increases with a low postoperative TPA (gradient parameter -0.22 , $p = 0.03$). No statistically significant influence of the rotation angle on the joint stability could be determined ($p = 0.42$). Also no statistically significant correlation could be found between subtotal meniscectomy and postoperative stifle joint stability ($p = 0.63$). All stifle joints showed thickening of the patellar ligament following TPLO, which was more pronounced at the distal measurement point ($p = 0.00$). There was no significant difference in the thickness increase of the patellar tendon between the two groups ($p = 0.13$). A lower postoperative TPA showed a significant increase in thickening of the patellar ligament at both measurement points (proximal: $p = 0.02$; distal: $p = 0.03$). In addition, there was a tendency for a more pronounced increase in thickness at the distal measurement point with a narrow tibial tuberosity (gradient parameter -0.08 , $p = 0.54$) and at both measurement points with a high rotation angle (gradient parameter 0.10 , proximal: $p = 0.18$; distal: $p = 0.09$).

Conclusion: Since the postoperative TPA of 0° was aimed for in the prospective group, significantly smaller TPA and more stable stifle joints were achieved than in the retrospective group. The angle of rotation and meniscal partial resection have no effect on the cranio-caudal stifle joint stability after TPLO. All stifle joints showed thickening of the patellar ligament postoperatively, which was more pronounced at the distal measurement point. One risk factor is a low postoperative TPA. The width of the tibial tuberosity after the osteotomy and the angle of rotation seem to have an influence on the development of such a thickening. To assess the clinical relevance, further studies are necessary.

8 LITERATURVERZEICHNIS

- Adams ME, Muir H. The glycosaminoglycans of canine menisci. *Biochem J.* 1981;197(2):385-9.
- Alm A, Stromberg B. Transposed medial third of patellar ligament in reconstruction of the anterior cruciate ligament. A surgical and morphologic study in dogs. *Acta Chir Scand Suppl.* 1974;445:37-49.
- Arnoczky SP. The over-the-top procedure: a technique for anterior cruciate ligament substitution in the dog. *J Am Anim Hosp Assoc.* 1979;15:283-90.
- Arnoczky SP, Marshall JL. The cruciate ligaments of the canine stifle: an anatomical and functional analysis. *Am J Vet Res.* 1977;38(11):1807-14.
- Arnoczky SP, Tarvin GB, Marshall JL. Anterior cruciate ligament replacement using patellar tendon. An evaluation of graft revascularization in the dog. *J Bone Joint Surg Am.* 1982;64(2):217-24.
- Arthurs GI, Langley-Hobbs SJ. Patellar luxation as a complication of surgical intervention for the management of cranial cruciate ligament rupture in dogs. A retrospective study of 32 cases. *Vet Comp Orthop Traumatol.* 2007;20(3):204-10.
- Au KK, Gordon-Evans WJ, Dunning D, O'Dell-Anderson KJ, Knap KE, Griffon D, Johnson AL. Comparison of short- and long-term function and radiographic osteoarthritis in dogs after postoperative physical rehabilitation and tibial plateau leveling osteotomy or lateral fabellar suture stabilization. *Vet Surg.* 2010;39(2):173-80.
- Bachelez A, Martinez SA. Heat generation by two different saw blades used for tibial plateau leveling osteotomies. *J Am Anim Hosp Assoc.* 2012;48(2):83-8.
- Ballagas AJ, Montgomery RD, Henderson RA, Gillette R. Pre- and postoperative force plate analysis of dogs with experimentally transected cranial cruciate ligaments treated using tibial plateau leveling osteotomy. *Vet Surg.* 2004;33(2):187-90.
- Barnes AJ. Rupture of the anterior cruciate ligament of the dog: a survey from practices in the Kent region BSAVA. *J Small Anim Pract.* 1977;18(1):55-9.
- Bashore TM, Bates ER, Berger PB, Clark DA, Cusma JT, Dehmer GJ, Kern MJ, Laskey WK, O'Laughlin MP, Oesterle S, Popma JJ, O'Rourke RA, Abrams J, Bates ER, Brodie BR, Douglas PS, Gregoratos G, Hlatky MA, Hochman JS, Kaul S, Tracy CM, Waters DD, Winters WL, Jr., American College of Cardiology. Task Force on Clinical Expert Consensus D. American College of Cardiology/Society for Cardiac Angiography and Interventions Clinical Expert Consensus Document on cardiac catheterization laboratory standards. A report of the American College of Cardiology Task Force on Clinical Expert Consensus Documents. *J Am Coll Cardiol.* 2001;37(8):2170-214.
- Bell JC, Ness MG. Does use of a jig influence the precision of tibial plateau leveling osteotomy surgery? *Vet Surg.* 2007;36(3):228-33.
- Bellenger CR. Knee joint function, meniscal disease, and osteoarthritis. *Vet Q.* 1995;17(sup1):5-6.
- Bennett D, May C. Meniscal damage associated with cruciate disease in the dog. *J Small Anim Pract.* 1991;32(3):111-7.
- Bergh MS, Rajala-Schultz P, Johnson KA. Risk factors for tibial tuberosity fracture after tibial plateau leveling osteotomy in dogs. *Vet Surg.* 2008;37(4):374-82.
- Bergh MS, Sullivan C, Ferrell CL, Troy J, Budsberg SC. Systematic review of surgical treatments for cranial cruciate ligament disease in dogs. *J Am Anim Hosp Assoc.* 2014;50(5):315-21.
- Berjon JJ, Munuera L, Calvo M. Degenerative lesions in the articular cartilage after meniscectomy: preliminary experimental study in dogs. *J Trauma.* 1991;31(3):342-50.

- Bertram JE, Lee DV, Case HN, Todhunter RJ. Comparison of the trotting gaits of Labrador Retrievers and Greyhounds. *Am J Vet Res.* 2000;61(7):832-8.
- Blond L, Thrall DE, Roe SC, Chailleux N, Robertson ID. Diagnostic accuracy of magnetic resonance imaging for meniscal tears in dogs affected with naturally occurring cranial cruciate ligament rupture. *Vet Radiol Ultrasound.* 2008;49(5):425-31.
- Böddeker J, Drüen S, Meyer-Lindenberg A, Fehr M, Nolte I, Wefstaedt P. Computer-assisted gait analysis of the dog: Comparison of two surgical techniques for the ruptured cranial cruciate ligament. *Vet Comp Ortho Trauma.* 2012;25(01):11-21.
- Bolia A, Böttcher P. Arthroscopic assisted femoral tunnel drilling for the intra-articular anatomic cranial cruciate ligament reconstruction in dogs. *Tierarztl Prax.* 2015;43(5):299-308.
- Böttcher P, Fischer C, Werner H, Grevel V, Oechtering G. Kniegelenkstabilität nach lateraler Fadenzügelung mit Ethibond Excel®: frühzeitige Destabilisierung nach passiver Gelenkbewegung. *Tierarztl Prax.* 2010;38(02):61-9.
- Böttcher P, Winkels P, Oechtering G. A novel pin distraction device for arthroscopic assessment of the medial meniscus in dogs. *Vet Surg.* 2009;38(5):595-600.
- Boudrieau RJ. Tibial plateau leveling osteotomy or tibial tuberosity advancement? *Vet Surg.* 2009;38(1):1-22.
- Boudrieau RJ, Kaderly RE, Arnoczky SP, Hohn RB, Olmstead ML. Vascularized patellar tendon graft technique for cranial cruciate ligament substitution in the dog—Vascular evaluation. *Vet Surg.* 1985;14(3):196-203.
- Boyd DJ, Miller CW, Etue SM, Monteith G. Radiographic and functional evaluation of dogs at least 1 year after tibial plateau leveling osteotomy. *Can Vet J.* 2007;48(4):392-6.
- Brandt KD, Myers SL, Burr D, Albrecht M. Osteoarthritic changes in canine articular cartilage, subchondral bone, and synovium fifty-four months after transection of the anterior cruciate ligament. *Arthritis Rheum.* 1991;34(12):1560-70.
- Brebner NS, Moens NM, Runciman JR. Evaluation of a treadmill with integrated force plates for kinetic gait analysis of sound and lame dogs at a trot. *Vet Comp Orthop Traumatol.* 2006;19(4):205-12.
- Brown NP, Bertocci GE, Marcellin-Little DJ. Canine stifle joint biomechanics associated with tibial plateau leveling osteotomy predicted by use of a computer model. *Am J Vet Res.* 2014;75(7):626-32.
- Bruce WJ, Rose A, Tuke J, Robins GM. Evaluation of the triple tibial osteotomy. A new technique for the management of the canine cruciate-deficient stifle. *Vet Comp Orthop Traumatol.* 2007;20(3):159-68.
- Buchner HH, Savelberg HH, Schamhardt HC, Merckens HW, Barneveld A. Kinematics of treadmill versus overground locomotion in horses. *Vet Q.* 1994;16 Suppl 2:S87-90.
- Budsberg SC, Verstraete MC, Soutas-Little RW. Force plate analysis of the walking gait in healthy dogs. *Am J Vet Res.* 1987;48(6):915-8.
- Bullough PG, Munuera L, Murphy J, Weinstein AM. The strength of the menisci of the knee as it relates to their fine structure. *J Bone Joint Surg Br.* 1970;52(3):564-7.
- Buote N, Fusco J, Radasch R. Age, tibial plateau angle, sex, and weight as risk factors for contralateral rupture of the cranial cruciate ligament in Labradors. *Vet Surg.* 2009;38(4):481-9.
- Butler DL, Grood ES, Noyes FR, Olmstead ML, Hohn RB, Arnoczky SP, Siegel MG. Mechanical properties of primate vascularized vs. nonvascularized patellar tendon grafts; changes over time. *J Orthop Res.* 1989;7(1):68-79.

- Butler DL, Noyes FR, Grood ES, Miller EH, Malek M. Mechanical properties of transplants for the anterior cruciate ligament. *Trans Orthop Res Soc.* 1979;4(81):38-45.
- Cabrera SY, Owen TJ, Mueller MG, Kass PH. Comparison of tibial plateau angles in dogs with unilateral versus bilateral cranial cruciate ligament rupture: 150 cases (2000-2006). *J Am Vet Med Assoc.* 2008;232(6):889-92.
- Canapp SO, Jr. The canine stifle. *Clin Tech Small Anim Pract.* 2007;22(4):195-205.
- Carey K, Aiken SW, DiResta GR, Herr LG, Monette S. Radiographic and clinical changes of the patellar tendon after tibial plateau leveling osteotomy 94 cases (2000-2003). *Vet Comp Orthop Traumatol.* 2005;18(4):235-42.
- Carlin I. Ruptur des Ligamentum cruciatum anterius im Kniegelenk beim Hund. *Arch Wissensch Prakt Tierh.* 1926;54:420-3.
- Casale SA, McCarthy RJ. Complications associated with lateral fabellotibial suture surgery for cranial cruciate ligament injury in dogs: 363 cases (1997-2005). *J Am Vet Med Assoc.* 2009;234(2):229-35.
- Case JB, Hulse D, Kerwin SC, Peycke LE. Meniscal injury following initial cranial cruciate ligament stabilization surgery in 26 dogs (29 stifles). *Vet Comp Orthop Traumatol.* 2008;21(4):365-7.
- Chauvet AE, Johnson AL, Pijanowski GJ, Homco L, Smith RD. Evaluation of fibular head transposition, lateral fabellar suture, and conservative treatment of cranial cruciate ligament rupture in large dogs: a retrospective study. *J Am Anim Hosp Assoc.* 1996;32(3):247-55.
- Childers HE. New methods for cruciate ligament repair. Repair by suture technique. *Mod Vet Pract.* 1966;47:59.
- Christopher SA, Beetem J, Cook JL. Comparison of long-term outcomes associated with three surgical techniques for treatment of cranial cruciate ligament disease in dogs. *Vet Surg.* 2013;42(3):329-34.
- Clancy WG, Jr., Narechania RG, Rosenberg TD, Gmeiner JG, Wisnefske DD, Lange TA. Anterior and posterior cruciate ligament reconstruction in rhesus monkeys. *J Bone Joint Surg Am.* 1981;63(8):1270-84.
- Comerford E, Forster K, Gorton K, Maddox T. Management of cranial cruciate ligament rupture in small dogs: a questionnaire study. *Vet Comp Orthop Traumatol.* 2013;26(6):493-7.
- Comerford EJ, Innes JF, Tarlton JF, Bailey AJ. Investigation of the composition, turnover, and thermal properties of ruptured cranial cruciate ligaments of dogs. *Am J Vet Res.* 2004;65(8):1136-41.
- Comerford EJ, Smith K, Hayashi K. Update on the aetiopathogenesis of canine cranial cruciate ligament disease. *Vet Comp Orthop Traumatol.* 2011;24(02):91-8.
- Conkling AL, Fagin B, Daye RM. Comparison of tibial plateau angle changes after tibial plateau leveling osteotomy fixation with conventional or locking screw technology. *Vet Surg.* 2010;39(4):475-81.
- Conzemius MG, Evans RB, Besancon MF, Gordon WJ, Horstman CL, Hoefle WD, Nieves MA, Wagner SD. Effect of surgical technique on limb function after surgery for rupture of the cranial cruciate ligament in dogs. *J Am Vet Med Assoc.* 2005;226(2):232-6.
- Cook JL, Luther JK, Beetem J, Karnes J, Cook CR. Clinical comparison of a novel extracapsular stabilization procedure and tibial plateau leveling osteotomy for treatment of cranial cruciate ligament deficiency in dogs. *Vet Surg.* 2010;39(3):315-23.
- Corr SA, Brown C. A comparison of outcomes following tibial plateau levelling osteotomy and cranial tibial wedge osteotomy procedures. *Vet Comp Orthop Traumatol.* 2007;20(4):312-9.

- Crass JR, Genovese RL, Render JA, Bellon EM. Magnetic resonance, ultrasound and histopathologic correlation of acute and healing equine tendon injuries. *Vet Radiol Ultrasound*. 1992;33(4):206-16.
- Davidson JR, Bauer M, Aiken S, Toombs J, Prostredny J. Comparison of stifle biomechanics after two different techniques of cranial cruciate ligament repair. *Vet Comp Orthop Traumatol*. 1993;6(03):172-4.
- De Medeiros M, Bustinduy SM, Radke H, Langley-Hobbs S, Jeffery N. Early kinematic outcome after treatment of cranial cruciate ligament rupture by tibial plateau levelling osteotomy in the dog. *Vet Comp Orthop Traumatol*. 2011;24(03):178-84.
- de Rooster H, Cox E, van Bree H. Prevalence and relevance of antibodies to type-I and -II collagen in synovial fluid of dogs with cranial cruciate ligament damage. *Am J Vet Res*. 2000;61(11):1456-61.
- DeAngelis M, Lau RE. A lateral retinacular imbrication technique for the surgical correction of anterior cruciate ligament rupture in the dog. *J Am Vet Med Assoc*. 1970;157(1):79-84.
- DeCamp CE. Kinetic and kinematic gait analysis and the assessment of lameness in the dog. *Vet Clin North Am Small Anim Pract*. 1997;27(4):825-40.
- DeCamp CE, Soutas-Little RW, Hauptman J, Olivier B, Braden T, Walton A. Kinematic gait analysis of the trot in healthy greyhounds. *Am J Vet Res*. 1993;54(4):627-34.
- Denny HR, Barr ARS. An evaluation of two 'over the top' techniques for anterior cruciate ligament replacement in the dog. *J Small Anim Pract*. 1984;25(12):759-69.
- DeSandre-Robinson DM, Tano CA, Fiore KL, Prytherch B. Radiographic evaluation and comparison of the patellar ligament following tibial plateau leveling osteotomy and tibial tuberosity advancement in dogs: 106 cases (2009–2012). *J Am Vet Med Assoc*. 2017;250(1):68-74.
- Dickinson CR, Nunamaker DM. Repair of ruptured anterior cruciate ligament in the dog: experience in 101 cases, using a modified fascia strip technique. *J Am Vet Med Assoc*. 1977;170(8):827-30.
- Doverspike M, Vasseur PB, Harb MF. Contralateral cranial cruciate ligament rupture: incidence in 114 dogs. *J Am Anim Hosp Assoc*. 1993;29(167).
- Dueland R. A recent technique for reconstruction of the anterior cruciate ligament. *Anim Hosp*. 1966;2:1-5.
- Duerr FM, Duncan CG, Savicky RS, Park RD, Egger EL, Palmer RH. Risk factors for excessive tibial plateau angle in large-breed dogs with cranial cruciate ligament disease. *J Am Vet Med Assoc*. 2007;231(11):1688-91.
- Dupius J, Blackketter DM, Harari J. Biomechanical properties of the stifle joint collateral ligament in dogs. *Vet Comp Ortho Trauma*. 1992:158-62.
- Dupuis J, Harari J, Blackketter DM, Gallina AM. Evaluation of the lateral collateral ligament after fibular head transposition in dogs. *Vet Surg*. 1994;23(6):456-65.
- Duval JM, Budsberg SC, Flo GL, Sammarco JL. Breed, sex, and body weight as risk factors for rupture of the cranial cruciate ligament in young dogs. *J Am Vet Med Assoc*. 1999;215(6):811-4.
- Ertelt J, Fehr M. Cranial cruciate ligament repair in dogs with and without meniscal lesions treated by different minimally invasive methods. *Vet Comp Orthop Traumatol*. 2009;22(1):21-6.
- Etchepareborde S, Brunel L, Bollen G, Balligand M. Preliminary experience of a modified Maquet technique for repair of cranial cruciate ligament rupture in dogs. *Vet Comp Orthop Traumatol*. 2011;24(03):223-7.

- Evans R, Horstman C, Conzemius M. Accuracy and optimization of force platform gait analysis in Labradors with cranial cruciate disease evaluated at a walking gait. *Vet Surg.* 2005;34(5):445-9.
- Fan H, Liu H, Toh SL, Goh JC. Anterior cruciate ligament regeneration using mesenchymal stem cells and silk scaffold in large animal model. *Biomaterials.* 2009;30(28):4967-77.
- Fanchon L, Grandjean D. Accuracy of asymmetry indices of ground reaction forces for diagnosis of hind limb lameness in dogs. *Am J Vet Res.* 2007;68(10):1089-94.
- Fettig AA, Rand WM, Sato AF, Solano M, McCarthy RJ, Boudrieau RJ. Observer variability of tibial plateau slope measurement in 40 dogs with cranial cruciate ligament-deficient stifle joints. *Vet Surg.* 2003;32(5):471-8.
- Filipe VM, Pereira JE, Costa LM, Mauricio AC, Couto PA, Melo-Pinto P, Varejao AS. Effect of skin movement on the analysis of hindlimb kinematics during treadmill locomotion in rats. *J Neurosci Methods.* 2006;153(1):55-61.
- Fischer C, Cherres M, Grevel V, Oechtering G, Böttcher P. Effects of attachment sites and joint angle at the time of lateral suture fixation on tension in the suture for stabilization of the cranial cruciate ligament deficient stifle in dogs. *Vet Surg.* 2010;39(3):334-42.
- Fitzpatrick N, Solano MA. Predictive variables for complications after TPLO with stifle inspection by arthrotomy in 1000 consecutive dogs. *Vet Surg.* 2010;39(4):460-74.
- Flo GL. Modification of the lateral retinacular imbrication technique for stabilizing cruciate ligament injuries [Dogs]. *J Am Anim Hosp Assoc.* 1975.
- Flo GL. Meniscal injuries and medial meniscectomy in the canine stifle. *J Am Anim Hosp Assoc.* 1978;14:683-9.
- Forterre F, Tomek A, Rytz U, Brunnberg L, Jaggy A, Spreng D. Iatrogenic sciatic nerve injury in eighteen dogs and nine cats (1997-2006). *Vet Surg.* 2007;36(5):464-71.
- Fredberg U, Bolvig L. Significance of ultrasonographically detected asymptomatic tendinosis in the patellar and achilles tendons of elite soccer players: a longitudinal study. *Am J Sports Med.* 2002;30(4):488-91.
- Fredricson I, Drevemo S, Dalin G, Hjerten G, Bjorne K, Rynde R, Franzen G. Treadmill for equine locomotion analysis. *Equine Vet J.* 1983;15(2):111-5.
- Freeman JW, Kwansa AL. Recent advancements in ligament tissue engineering: The use of various techniques and materials for ACL repair. *Recent Pat Biomed Eng.* 2008;1(1):18-23.
- Frey TN, Hoelzler MG, Scavelli TD, Fulcher RP, Bastian RP. Risk factors for surgical site infection-inflammation in dogs undergoing surgery for rupture of the cranial cruciate ligament: 902 cases (2005-2006). *J Am Vet Med Assoc.* 2010;236(1):88-94.
- Fu F, Christel P, Miller MD, Johnson DL. Graft selection for anterior cruciate ligament reconstruction. *Instr Course Lect.* 2009;58:337-54.
- Fujita Y, Hara Y, Ochi H, Nezu Y, Harada Y, Yogo T, Orima H, Tagawa M. The possible role of the tibial plateau angle for the severity of osteoarthritis in dogs with cranial cruciate ligament rupture. *J Vet Med Sci.* 2006;68(7):675-9.
- Gambardella PC. Lateral suture technique for management of anterior cruciate ligament rupture in dogs: a retrospective study. *J Am Anim Hosp Assoc.* 1981;17:33-8.
- Gatesy SM, Baier DB, Jenkins FA, Dial KP. Scientific roto-scoping: a morphology-based method of 3-D motion analysis and visualization. *J Exp Zool A Ecol Genet Physiol.* 2010;313(5):244-61.
- Gemmill TJ, Farrell M. Evaluation of a joint distractor to facilitate arthroscopy of the canine stifle. *Vet Surg.* 2009;38(5):588-94.

- Gisslen K, Alfredson H. Neovascularisation and pain in jumper's knee: a prospective clinical and sonographic study in elite junior volleyball players. *Br J Sports Med.* 2005;39(7):423-8; discussion -8.
- Gordon-Evans WJ, Griffon DJ, Bubbs C, Knap KM, Sullivan M, Evans RB. Comparison of lateral fabellar suture and tibial plateau leveling osteotomy techniques for treatment of dogs with cranial cruciate ligament disease. *J Am Vet Med Assoc.* 2013;243(5):675-80.
- Gordon WJ, Conzemius MG, Riedesel E, Besancon MF, Evans R, Wilke V, Ritter MJ. The relationship between limb function and radiographic osteoarthritis in dogs with stifle osteoarthritis. *Vet Surg.* 2003;32(5):451-4.
- Guastella DB, Fox DB, Cook JL. Tibial plateau angle in four common canine breeds with cranial cruciate ligament rupture, and its relationship to meniscal tears. *Vet Comp Orthop Traumatol.* 2008;21(2):125-8.
- Haaland PJ, Sjostrom L. Luxation of the long digital extensor tendon as a complication to Tibial Plateau Levelling Osteotomy. A presentation of four cases. *Vet Comp Orthop Traumatol.* 2007;20(3):224-6.
- Hara R, Sangeux M, Baker R, McGinley J. Quantification of pelvic soft tissue artifact in multiple static positions. *Gait Posture.* 2014;39(2):712-7.
- Harasen GL, Simko E. Histiocytic sarcoma of the stifle in a dog with cranial cruciate ligament failure and TPLO treatment. *Vet Comp Orthop Traumatol.* 2008;21(4):375-7.
- Hayes GM, Langley-Hobbs SJ, Jeffery ND. Risk factors for medial meniscal injury in association with cranial cruciate ligament rupture. *J Small Anim Pract.* 2010;51(12):630-4.
- Headrick J, Cook J, Helphrey M, Crouch D, Fox D, Schultz L, Cook C, Kunkel J. A novel radiographic method to facilitate measurement of the tibial plateau angle in dogs. A prospective clinical study. *Vet Comp Orthop Traumatol.* 2007;20(1):24-8.
- Heffron LE, Campbell JR. Osteophyte formation in the canine stifle joint following treatment for rupture of the cranial cruciate ligament. *J Small Anim Pract.* 1979;20(10):603-11.
- Henderson RA, Milton JL. The tibial compression mechanism: a diagnostic aid in stifle injuries. *J Am Anim Hosp Assoc.* 1978.
- Hoffmann DE, Miller JM, Ober CP, Lanz OI, Martin RA, Shires PK. Tibial tuberosity advancement in 65 canine stifles. *Vet Comp Orthop Traumatol.* 2006;19(4):219-27.
- Hospodar SJ, Miller MD. Controversies in ACL reconstruction: bone-patellar tendon-bone anterior cruciate ligament reconstruction remains the gold standard. *Sports Med Arthrosc Rev.* 2009;17(4):242-6.
- Hulse D, Johnson S. Isolated lateral meniscal tear in the dog. *Vet Comp Orthop Traumatol.* 1988;1(03/04):152-4.
- Hulse Da, Beale B, Kerwin SC. Second look arthroscopic findings after tibial plateau leveling osteotomy. *Vet Surg.* 2010;39(3):350-4.
- Hulse DA, Michaelson F, Johnson CC, Abdelbaki YZ. A technique for reconstruction of the anterior cruciate ligament in the dog: Preliminary report. *Vet Surg.* 1980;9(4):135-40.
- Hurley CR, Hammer DL, Shott S. Progression of radiographic evidence of osteoarthritis following tibial plateau leveling osteotomy in dogs with cranial cruciate ligament rupture: 295 cases (2001-2005). *J Am Vet Med Assoc.* 2007;230(11):1674-9.
- Imholt KM, Möller S, Fehr M, Meyer-Lindenberg A. Lahmheits- und Osteoarthroseentwicklung nach Tibial Plateau Leveling Osteotomy (TPLO) und potenzielle prognostische Einflussfaktoren. Eine retrospektive Langzeitstudie. *Tierarztl Prax.* 2011;39(5):323-35.
- Innes JF, Bacon D, Lynch C, Pollard A. Long-term outcome of surgery for dogs with cranial cruciate ligament deficiency. *Vet Rec.* 2000;147(12):325-8.

- Jaegger G, Marcellin-Little DJ, Levine D. Reliability of goniometry in Labrador Retrievers. *Am J Vet Res.* 2002;63(7):979-86.
- Jandi AS, Schulman AJ. Incidence of motion loss of the stifle joint in dogs with naturally occurring cranial cruciate ligament rupture surgically treated with tibial plateau leveling osteotomy: longitudinal clinical study of 412 cases. *Vet Surg.* 2007;36(2):114-21.
- Johnson JA, Austin C, Breur GJ. Incidence of canine appendicular musculoskeletal disorders in 16 veterinary teaching hospitals from 1980 through 1989. *VCOT Archive.* 1994;7(2):5-18.
- Johnson JM, Johnson AL, Pijanowski GJ, Kneller SK, Schaeffer DJ, Eurell JA, Smith CW, Swan KS. Rehabilitation of dogs with surgically treated cranial cruciate ligament-deficient stifles by use of electrical stimulation of muscles. *Am J Vet Res.* 1997;58(12):1473-8.
- Johnson MD, Shmon CL, Linn KA, Singh B. Ex vivo evaluation of the effect of various surgical procedures on blood delivery to the patellar tendon of dogs. *Am J Vet Res.* 2016;77(5):548-55.
- Johnson SG, Hulse DA, Hogan HA, Nelson JK, Boothe HW. System behavior of commonly used cranial cruciate ligament reconstruction autografts. *Vet Surg.* 1989;18(6):459-65.
- Kadaba MP, Ramakrishnan HK, Wootten ME, Gainey J, Gorton G, Cochran GV. Repeatability of kinematic, kinetic, and electromyographic data in normal adult gait. *J Orthop Res.* 1989;7(6):849-60.
- Kambic HE, McDevitt CA. Spatial organization of types I and II collagen in the canine meniscus. *J Orthop Res.* 2005;23(1):142-9.
- Kanno N, Amimoto H, Hara Y, Harada Y, Nezu Y, Yogo T, Tagawa M. In vitro evaluation of the relationship between the semitendinosus muscle and cranial cruciate ligament in canine cadavers. *Am J Vet Res.* 2012;73(5):672-80.
- Kergosien DH, Barnhart MD, Kees CE, Danielson BG, Brouman JD, DeHoff WD, Schertel ER. Radiographic and clinical changes of the tibial tuberosity after tibial plateau leveling osteotomy. *Vet Surg.* 2004;33(5):468-74.
- Khan KM, Bonar F, Desmond PM, Cook JL, Young DA, Visentini PJ, Fehrmann MW, Kiss ZS, O'Brien PA, Harcourt PR, Dowling RJ, O'Sullivan RM, Crichton KJ, Tress BM, Wark JD. Patellar tendinosis (jumper's knee): findings at histopathologic examination, US, and MR imaging. Victorian Institute of Sport Tendon Study Group. *Radiology.* 1996;200(3):821-7.
- Khumsap S, Lanovaz JL, Clayton HM. Verification of skin-based markers for 3-dimensional kinematic analysis of the equine tarsal joint. *Equine Vet J.* 2004;36(8):655-8.
- Kim J, Coolman B. Comparison of Complication Rates Between Titanium and Stainless Steel Implants Following Tibial Plateau Leveling Osteotomy in Dogs; 265 Cases (2007-2009). *Veterinary Orthopedic Society 37th Annual Conference; 2010 Feb 20-27; Breckenridge, Colorado, USA; 2010.*
- Kim SE, Jones SC, Lewis DD, Banks SA, Conrad BP, Tremolada G, Abbasi AZ, Coggeshall JD, Pozzi A. In-vivo three-dimensional knee kinematics during daily activities in dogs. *J Orthop Res.* 2015;33(11):1603-10.
- Kim SE, Lewis DD, Pozzi A. Effect of tibial plateau leveling osteotomy on femorotibial subluxation: in vivo analysis during standing. *Vet Surg.* 2012;41(4):465-70.
- Kim SE, Pozzi A, Banks SA, Conrad BP, Lewis DD. Effect of tibial plateau leveling osteotomy on femorotibial contact mechanics and stifle kinematics. *Vet Surg.* 2009;38(1):23-32.
- Kim SE, Pozzi A, Kowaleski MP, Lewis DD. Tibial osteotomies for cranial cruciate ligament insufficiency in dogs. *Vet Surg.* 2008;37(2):111-25.

- Kim SY, Kim JY, Hayashi K, Kapatkin AS. Skin movement during the kinematic analysis of the canine pelvic limb. *Vet Comp Orthop Traumatol*. 2011;24(5):326-32.
- King JB, Perry DJ, Mourad K, Kumar SJ. Lesions of the patellar ligament. *J Bone Joint Surg Br*. 1990;72(1):46-8.
- Kloene P. Therapieergebnisse bei Hunden mit einer (Teil-) Ruptur des Ligamentum cruciatum craniale nach Arthroskopie und minimal invasiver lateraler Fadenzügelung sowie nach Tibial Plateau Leveling Osteotomy (TPLO). Hannover: Tierärztliche Hochschule Hannover; 2005.
- Knecht CD. Evolution of surgical techniques for cruciate ligament rupture in animals. *J Am Anim Hosp Assoc*. 1976;12:717-26.
- König HE, Liebich HG. Anatomie der Haussäugetiere. 3. Auflage ed. Stuttgart: Schattauer; 2005.
- Korvick DL, Pijanowski GJ, Schaeffer DJ. Three-dimensional kinematics of the intact and cranial cruciate ligament-deficient stifle of dogs. *J Biomech*. 1994;27(1):77-87.
- Kowaleski MP, Apelt D, Mattoon JS, Litsky AS. The effect of tibial plateau leveling osteotomy position on cranial tibial subluxation: an in vitro study. *Vet Surg*. 2005;34(4):332-6.
- Kowaleski MP, McCarthy RJ. Geometric analysis evaluating the effect of tibial plateau leveling osteotomy position on postoperative tibial plateau slope. *Vet Comp Orthop Traumatol*. 2004;17(30).
- Kramer M, Stengel H, Gerwing M, Schimke E, Sheppard C. Sonography of the canine stifle. *Vet Radiol Ultrasound*. 1999;40(3):282-93.
- Krause WR, Pope MH, Johnson RJ, Wilder DG. Mechanical changes in the knee after meniscectomy. *J Bone Joint Surg Am*. 1976;58(5):599-604.
- Krotscheck U, Nelson SA, Todhunter RJ, Stone M, Zhang Z. Long Term Functional Outcome of Tibial Tuberosity Advancement vs. Tibial Plateau Leveling Osteotomy and Extracapsular Repair in a Heterogeneous Population of Dogs. *Vet Surg*. 2016;45(2):261-8.
- Lafaver S, Miller NA, Stubbs WP, Taylor RA, Boudrieau RJ. Tibial tuberosity advancement for stabilization of the canine cranial cruciate ligament-deficient stifle joint: surgical technique, early results, and complications in 101 dogs. *Vet Surg*. 2007;36(6):573-86.
- Lambert RJ, Wendelburg KL. Determination of the mechanical medial proximal tibial angle using a tangential radiographic technique. *Vet Surg*. 2010;39(2):181-6.
- Langley-Hobbs SJ. Lateral meniscal tears and stifle osteochondrosis in three dogs. *Vet Rec*. 2001;149(19):592-4.
- Lazar TP, Berry CR, deHaan JJ, Peck JN, Correa M. Long-term radiographic comparison of tibial plateau leveling osteotomy versus extracapsular stabilization for cranial cruciate ligament rupture in the dog. *Vet Surg*. 2005;34(2):133-41.
- Leardini A, Chiari L, Della Croce U, Cappozzo A. Human movement analysis using stereophotogrammetry. Part 3. Soft tissue artifact assessment and compensation. *Gait Posture*. 2005;21(2):212-25.
- Lee JY, Kim JH, Lee WG, Han TS, Cho K, Han HJ, Kang SS, Kim G, Choi SH. Scintigraphic evaluation of TPLO and CTWO in canine osteoarthritis. *In Vivo*. 2007;21(5):855-9.
- Legnani C, Ventura A, Terzaghi C, Borgo E, Albisetti W. Anterior cruciate ligament reconstruction with synthetic grafts. A review of literature. *Int Orthop*. 2010;34(4):465-71.
- Leighton RL. Preferred method of repair of cranial cruciate ligament rupture in dogs: a survey of ACVS diplomates specializing in canine orthopedics. *American College of Veterinary Surgery*. *Vet Surg*. 1999;28(3):194.

- Lineberger JA, Allen DA, Wilson ER, Tobias TA, Shaiken LG, Shiroma JT, Biller DS, Lehenbauer TW. Comparison of radiographic arthritic changes associated with two variations of tibial plateau leveling osteotomy. *Vet Comp Orthop Traumatol*. 2005;18(1):13-7.
- Liu W, Burton-Wurster N, Glant TT, Tashman S, Sumner DR, Kamath RV, Lust G, Kimura JH, Cs-Szabo G. Spontaneous and experimental osteoarthritis in dog: similarities and differences in proteoglycan levels. *J Orthop Res*. 2003;21(4):730-7.
- Luther JK, Cook CR, Cook JL. Meniscal release in cruciate ligament intact stifles causes lameness and medial compartment cartilage pathology in dogs 12 weeks postoperatively. *Vet Surg*. 2009;38(4):520-9.
- MacDonald TL, Allen DA, Monteith GJ. Clinical assessment following tibial tuberosity advancement in 28 stifles at 6 months and 1 year after surgery. *Can Vet J*. 2013;54(3):249-54.
- Macias C, McKee WM, May C. Caudal proximal tibial deformity and cranial cruciate ligament rupture in small-breed dogs. *J Small Anim Pract*. 2002;43(10):433-8.
- Mahn MM, Cook JL, Cook CR, Balke MT. Arthroscopic verification of ultrasonographic diagnosis of meniscal pathology in dogs. *Vet Surg*. 2005;34(4):318-23.
- Mann FA, Wagner-Mann C, Tangner CH. Manual goniometric measurement of the canine pelvic limb. *J Am Anim Hosp Assoc*. 1988;24(189).
- Marshall JL. Periarticular osteophytes. Initiation and formation in the knee of the dog. *Clin Orthop Relat Res*. 1969;62:37-47.
- Marshall JL, Olsson SE. Instability of the knee. A long-term experimental study in dogs. *J Bone Joint Surg Am*. 1971;53(8):1561-70.
- Marsolais GS, McLean S, Derrick T, Conzemius MG. Kinematic analysis of the hind limb during swimming and walking in healthy dogs and dogs with surgically corrected cranial cruciate ligament rupture. *J Am Vet Med Assoc*. 2003;222(6):739-43.
- Matsas A, Taylor N, McBurney H. Knee joint kinematics from familiarised treadmill walking can be generalised to overground walking in young unimpaired subjects. *Gait Posture*. 2000;11(1):46-53.
- Mattern KL, Berry CR, Peck JN, De Haan JJ. Radiographic and ultrasonographic evaluation of the patellar ligament following tibial plateau leveling osteotomy. *Vet Radiol Ultrasound*. 2006;47(2):185-91.
- McLaughlin RM, Jr., Roush JK. Effects of subject stance time and velocity on ground reaction forces in clinically normal greyhounds at the trot. *Am J Vet Res*. 1994;55(12):1666-71.
- Melhorn JM, Henning CE. The relationship of the femoral attachment site to the isometric tracking of the anterior cruciate ligament graft. *Am J Sports Med*. 1987;15(6):539-42.
- Metelman AL, Schwarz P, Salman M, Alvis M. An evaluation of three different cranial cruciate ligament surgical stabilization procedures as they relate to postoperative meniscal injuries. *Vet Comp Orthop Traumatol*. 1995;8(02):118-23.
- Millis DL, Levine D. *Canine Rehabilitation and Physical Therapy*: Saunders; 2013.
- Mitton GR, Ireland WP, Runyon CL. Evaluation of the instantaneous centers of rotation of the stifle before and after repair of torn cruciate ligament by use of the over-the-top technique in dogs. *Am J Vet Res*. 1991;52(10):1731-7.
- Moeller EM, Cross AR, Rapoff AJ. Change in tibial plateau angle after tibial plateau leveling osteotomy in dogs. *Vet Surg*. 2006;35(5):460-4.
- Monahan JJ, Grigg P, Pappas AM, Leclair WJ, Marks T, Fowler DP, Sullivan TJ. In vivo strain patterns in the four major canine knee ligaments. *J Orthop Res*. 1984;2(4):408-18.

- Monk ML, Preston CA, McGowan CM. Effects of early intensive postoperative physiotherapy on limb function after tibial plateau leveling osteotomy in dogs with deficiency of the cranial cruciate ligament. *Am J Vet Res.* 2006;67(3):529-36.
- Montavon PM, Damur DM, Tepic S. Advancement of the tibial Tuberosity for the treatment of cranial cruciate deficient canine stifle. In: *ESVOT-VOS 1st World Orthopedic Veterinary Congress.* Munich, Germany; 2002.
- Morgan JP, Voss K, Damur DM, Guerrero T, Haessig M, Montavon PM. Correlation of radiographic changes after tibial tuberosity advancement in dogs with cranial cruciate-deficient stifles with functional outcome. *Vet Surg.* 2010;39(4):425-32.
- Morris E, Lipowitz AJ. Comparison of tibial plateau angles in dogs with and without cranial cruciate ligament injuries. *J Am Vet Med Assoc.* 2001;218(3):363-6.
- Nelson SA, Krotscheck U, Rawlinson J, Todhunter RJ, Zhang Z, Mohammed H. Long-term functional outcome of tibial plateau leveling osteotomy versus extracapsular repair in a heterogeneous population of dogs. *Vet Surg.* 2013;42(1):38-50.
- Ness MG, Abercromby RH, May C, Turner BM, Carmichael S. A survey of orthopaedic conditions in small animal veterinary practice in Britain. *VCOT Archive.* 1996;9(2):6-15.
- Nickel R, Schummer A, Seiferle E. *Lehrbuch der Anatomie der Haustiere: Parey;* 2003.
- Niebauer GW, Menzel EJ. Immunological changes in canine cruciate ligament rupture. *Res Vet Sci.* 1982;32(2):235-41.
- Nielen AL, Janss LL, Knol BW. Heritability estimations for diseases, coat color, body weight, and height in a birth cohort of Boxers. *Am J Vet Res.* 2001;62(8):1198-206.
- O'Brien CS, Martinez SA. Potential iatrogenic medial meniscal damage during tibial plateau leveling osteotomy. *Vet Surg.* 2009;38(7):868-73.
- Odders JW, Jessen CR, Lipowitz AJ. Sequential measurements of the tibial plateau angle in large-breed, growing dogs. *Am J Vet Res.* 2004;65(4):513-8.
- Off W, Matis U. *Ganganalyse beim Hund Teil 2: Aufbau eines Ganglabors und bewegungsanalytische Untersuchungen. Tierarztl Prax Ausg K Kleintiere Heimtiere.* 1997;25:303-11.
- Orford CR, Gardner DL, O'Connor P. Ultrastructural changes in dog femoral condylar cartilage following anterior cruciate ligament section. *J Anat.* 1983;137 (Pt 4):653-63.
- Owen MR, Richards J, Clements DN, Drew ST, Bennett D, Carmichael S. Kinematics of the elbow and stifle joints in greyhounds during treadmill trotting An investigation of familiarisation. *Vet Comp Orthop Traumatol.* 2004;17(03):141-5.
- Oxley B, Gemmill TJ, Renwick AR, Clements DN, McKee WM. Comparison of complication rates and clinical outcome between tibial plateau leveling osteotomy and a modified cranial closing wedge osteotomy for treatment of cranial cruciate ligament disease in dogs. *Vet Surg.* 2013;42(6):739-50.
- Paatsama S. *Ligament injuries in the canine stifle joint. A clinical and experimental study.* Helsinki: University of Helsinki; 1952.
- Paatsama S, Sittnikow K. Early changes in the knee joint due to instability induced by cutting of the anterior cruciate ligament: an experimental study in young dogs. *Acta Radiol Diagn (Stockh).* 1972;13(319_suppl):169-73.
- Pacchiana PD, Morris E, Gillings SL, Jessen CR, Lipowitz AJ. Surgical and postoperative complications associated with tibial plateau leveling osteotomy in dogs with cranial cruciate ligament rupture: 397 cases (1998-2001). *J Am Vet Med Assoc.* 2003;222(2):184-93.
- Pettazoni M. cTTA (circular Tibial Tuberosity Advancement). In: *ESVOT-VOS 3rd World Veterinary Orthopaedic Congress.* Bologna, Italy; 2010.

- Pond MJ, Campbell JR. The canine stifle joint. I. Rupture of the anterior cruciate ligament. An assessment of conservative and surgical treatment. *J Small Anim Pract.* 1972;13(1):1-10.
- Pozzi A, Hildreth BE, 3rd, Rajala-Schultz PJ. Comparison of arthroscopy and arthrotomy for diagnosis of medial meniscal pathology: an ex vivo study. *Vet Surg.* 2008a;37(8):749-55.
- Pozzi A, Kowaleski MP, Apelt D, Meadows C, Andrews CM, Johnson KA. Effect of medial meniscal release on tibial translation after tibial plateau leveling osteotomy. *Vet Surg.* 2006;35(5):486-94.
- Pozzi A, Litsky AS, Field J, Apelt D, Meadows C, Johnson KA. Pressure distributions on the medial tibial plateau after medial meniscal surgery and tibial plateau levelling osteotomy in dogs. *Vet Comp Orthop Traumatol.* 2008b;21(1):8-14.
- Priddy NH, 2nd, Tomlinson JL, Dodam JR, Hornbostel JE. Complications with and owner assessment of the outcome of tibial plateau leveling osteotomy for treatment of cranial cruciate ligament rupture in dogs: 193 cases (1997-2001). *J Am Vet Med Assoc.* 2003;222(12):1726-32.
- Ragety CA, Evans R, Mostafa AA, Griffon DJ. Multivariate analysis of morphometric characteristics to evaluate risk factors for cranial cruciate ligament deficiency in Labrador retrievers. *Vet Surg.* 2011;40(3):327-33.
- Ralphs SC, Whitney WO. Arthroscopic evaluation of menisci in dogs with cranial cruciate ligament injuries: 100 cases (1999-2000). *J Am Vet Med Assoc.* 2002;221(11):1601-4.
- Ramírez-Flores GI, Del Angel-Caraza J, Quijano-Hernández IA, Hulse DA, Beale BS, Victoria-Mora JM. Correlation between osteoarthritic changes in the stifle joint in dogs and the results of orthopedic, radiographic, ultrasonographic and arthroscopic examinations. *Vet Res Commun.* 2017;41(2):129-37.
- Rayward RM, Thomson DG, Davies JV, Innes JF, Whitelock RG. Progression of osteoarthritis following TPLO surgery: a prospective radiographic study of 40 dogs. *J Small Anim Pract.* 2004;45(2):92-7.
- Read RA, Robins GM. Deformity of the proximal tibia in dogs. *Vet Rec.* 1982;111(13):295-8.
- Reed AL, Payne JT, Constantinescu GM. Ultrasonographic anatomy of the normal canine stifle. *Vet Radiol Ultrasound.* 1995;36(4):315-21.
- Reif U, Dejardin LM, Probst CW, DeCamp CE, Flo GL, Johnson AL. Influence of limb positioning and measurement method on the magnitude of the tibial plateau angle. *Vet Surg.* 2004;33(4):368-75.
- Reif U, Hulse DA, Hauptman JG. Effect of tibial plateau leveling on stability of the canine cranial cruciate-deficient stifle joint: an in vitro study. *Vet Surg.* 2002;31(2):147-54.
- Rey J, Fischer MS, Böttcher P. Sagittal joint instability in the cranial cruciate ligament insufficient canine stifle. Caudal slippage of the femur and not cranial tibial subluxation. *Tierarztl Prax Ausg K Kleintiere Heimtiere.* 2014;42(3):151-6.
- Richmond JC, Weitzel PP. Bioresorbable scaffolds for anterior cruciate ligament reconstruction: do we need an off-the-shelf ACL substitute? *Sports Med Arthrosc Rev.* 2010;18(1):40-2.
- Ridge PA. Isolated medial meniscal tear in a Border Collie. *Vet Comp Orthop Traumatol.* 2006;19(2):110-2.
- Riggs CM, DeCamp CE, Soutas-Little RW, Braden TD, Richter MA. Effects of subject velocity on force plate-measured ground reaction forces in healthy greyhounds at the trot. *Am J Vet Res.* 1993;54(9):1523-6.

- Ritter MJ, Perry RL, Olivier NB, Kim SY, Dejardin LM. Tibial plateau symmetry and the effect of osteophytosis on tibial plateau angle measurements. *J Am Anim Hosp Assoc.* 2007;43(2):93-8.
- Robinson DA, Mason DR, Evans R, Conzemius MG. The effect of tibial plateau angle on ground reaction forces 4-17 months after tibial plateau leveling osteotomy in Labrador Retrievers. *Vet Surg.* 2006;35(3):294-9.
- Roe SC, Kue J, Gemma J. Isometry of potential suture attachment sites for the cranial cruciate ligament deficient canine stifle. *Vet Comp Orthop Traumatol.* 2008;21(3):215-20.
- Roush JK, McLaughlin RM, Jr. Effects of subject stance time and velocity on ground reaction forces in clinically normal greyhounds at the walk. *Am J Vet Res.* 1994;55(12):1672-6.
- Rumph PF, Steiss JE, West MS. Interday variation in vertical ground reaction force in clinically normal Greyhounds at the trot. *Am J Vet Res.* 1999;60(6):679-83.
- Samoy Y, Verhoeven G, Bosmans T, Van der Vekens E, de Bakker E, Verleyen P, Van Ryssen B. TTA rapid: description of the technique and short term clinical trial results of the first 50 cases. *Vet Surg.* 2015;44(4):474-84.
- Scavelli TD, Schrader SC, Matthiesen DT, Skorup DE. Partial rupture of the cranial cruciate ligament of the stifle in dogs: 25 cases (1982-1988). *J Am Vet Med Assoc.* 1990;196(7):1135-8.
- Schaible M, Shani J, Caceres A, Payton M, Segev Y, Ben-Amotz R. Combined tibial plateau levelling osteotomy and lateral fabellotibial suture for cranial cruciate ligament rupture with severe rotational instability in dogs. *J Small Anim Pract.* 2017;58(4):219-26.
- Schieb DA. Kinematic accommodation of novice treadmill runners. *Res Q Exerc Sport.* 1986;57(1):1-7.
- Schmerbach KI, Boeltzig CK, Reif U, Wieser JC, Keller T, Grevel V. In vitro comparison of tibial plateau leveling osteotomy with and without use of a tibial plateau leveling jig. *Vet Surg.* 2007;36(2):156-63.
- Schwencke M, Smolders LA, Bergknut N, Gustas P, Meij BP, Hazewinkel HA. Soft tissue artifact in canine kinematic gait analysis. *Vet Surg.* 2012;41(7):829-37.
- Serwa D, Lorinson K, Lorinson D, Skalicky M. Comparison of conventional and digital measurements of tibial plateau angle in dogs. *J Am Vet Med Assoc.* 2009;234(5):622-4.
- Shahar R, Milgram J. Biomechanics of tibial plateau leveling of the canine cruciate-deficient stifle joint: a theoretical model. *Vet Surg.* 2006;35(2):144-9.
- Shires PK. The under-and-over fascial replacement technique for anterior cruciate ligament rupture in dogs: a retrospective study. *J Am Anim Hosp Assoc.* 1984;20:69-77.
- Slocum B, Devine Slocum T. Tibial plateau leveling osteotomy for repair of cranial cruciate ligament rupture in the canine. *Vet Clin North Am Small Anim Pract.* 1993;23(4):777-95.
- Slocum B, Devine T. Cranial tibial wedge osteotomy: a technique for eliminating cranial tibial thrust in cranial cruciate ligament repair. *J Am Vet Med Assoc.* 1984;184(5):564-9.
- Smith GK, Torg JS. Fibular head transposition for repair of cruciate-deficient stifle in the dog. *J Am Vet Med Assoc.* 1985;187(4):375-83.
- Smith GN, Mickler EA, Albrecht ME, Myers SL, Brandt KD. Severity of medial meniscus damage in the canine knee after anterior cruciate ligament transection. *Osteoarthr Cartil.* 2002;10(4):321-6.

- Snow LA, White R, Gustafson S, Xie L, Hosgood G, Monroe WT, Casey JP, Lopez MJ. Ex vivo comparison of three surgical techniques to stabilize canine cranial cruciate ligament deficient stifles. *Vet Surg.* 2010;39(2):195-207.
- Solomonow M, Baratta R, Zhou BH, Shoji H, Bose W, Beck C, D'Ambrosia R. The synergistic action of the anterior cruciate ligament and thigh muscles in maintaining joint stability. *Am J Sports Med.* 1987;15(3):207-13.
- Stauffer KD, Tuttle TA, Elkins AD, Wehrenberg AP, Character BJ. Complications associated with 696 tibial plateau leveling osteotomies (2001-2003). *J Am Anim Hosp Assoc.* 2006;42(1):44-50.
- Stein S, Schmoekel H. Short-term and eight to 12 months results of a tibial tuberosity advancement as treatment of canine cranial cruciate ligament damage. *J Small Anim Pract.* 2008;49(8):398-404.
- Stephan JS, McLaughlin RM, Jr., Griffith G. Water content and glycosaminoglycan disaccharide concentration of the canine meniscus. *Am J Vet Res.* 1998;59(2):213-6.
- Stockwell RA, Billingham ME, Muir H. Ultrastructural changes in articular cartilage after experimental section of the anterior cruciate ligament of the dog knee. *J Anat.* 1983;136(Pt 2):425-39.
- Stone EA, Betts CW, Rudy RL. Folding of the caudal horn of the medial meniscus secondary to severance of the cranial cruciate ligament. *Vet Surg.* 1980;9(4):121-4.
- Strande A. Repair of the ruptured cranial cruciate ligament in the dog; an experimental and clinical study. Oslo, Norwegen: Universitetsforlaget; 1967.
- Tashman S, Anderst W, Kolowich P, Havstad S, Arnoczky S. Kinematics of the ACL-deficient canine knee during gait: serial changes over two years. *J Orthop Res.* 2004;22(5):931-41.
- Tepic S, Damur DM, Montavon PM. Biomechanics of the stifle joint. *Proceedings of the 1st World Orthopaedic Veterinary Congress; 2002; 2002.* p. 189-90.
- Tepic S, Montavon PM. Is cranial tibial advancement relevant in the cruciate deficient stifle. *Proceedings of the 12th ESVOT Congress; 2004; 2004.* p. 132-3.
- Thieman KM, Tomlinson JL, Fox DB, Cook C, Cook JL. Effect of meniscal release on rate of subsequent meniscal tears and owner-assessed outcome in dogs with cruciate disease treated with tibial plateau leveling osteotomy. *Vet Surg.* 2006;35(8):705-10.
- Tinga S, Kim SE, Banks SA, Jones SC, Park BH, Pozzi A, Lewis DD. Femorotibial kinematics in dogs with cranial cruciate ligament insufficiency: a three-dimensional in-vivo fluoroscopic analysis during walking. *BMC Vet Res.* 2018;14(1):85.
- Tirgari M. Changes in the canine stifle joint following rupture of the anterior cruciate ligament. *J Small Anim Pract.* 1978;19(1):17-26.
- Tirgari M, Vaughan LC. Arthritis of the canine stifle joint. *Vet Rec.* 1975;96(18):394-9.
- Tobias KM, Johnston SA. *Veterinary Surgery: Small Animal.* 1. Aufl. ed. St. Louis, Missouri: Saunders; 2012.
- Torres BT, Moens NM, Al-Nadaf S, Reynolds LR, Fu YC, Budsberg SC. Comparison of overground and treadmill-based gaits of dogs. *Am J Vet Res.* 2013;74(4):535-41.
- Tuttle TA, Manley PA. Risk factors associated with fibular fracture after tibial plateau leveling osteotomy. *Vet Surg.* 2009;38(3):355-60.
- Unis MD, Johnson AL, Griffon DJ, Schaeffer DJ, Ragetly GR, Hoffer MJ, Ragetly CA. Evaluation of intra- and interobserver variability and repeatability of tibial plateau angle measurements with digital radiography using a novel digital radiographic program. *Vet Surg.* 2010a;39(2):187-94.

- Unis MD, Roush JK, Bilicki KL, Baker SG. Effect of bandaging on post-operative swelling after tibial plateau levelling osteotomy. *Vet Comp Orthop Traumatol.* 2010b;23(4):240-4.
- Vasseur PB, Arnoczky SP. Collateral ligaments of the canine stifle joint: anatomic and functional analysis. *Am J Vet Res.* 1981;42(7):1133-7.
- Vasseur PB, Pool RR, Arnoczky SP, Lau RE. Correlative biomechanical and histologic study of the cranial cruciate ligament in dogs. *Am J Vet Res.* 1985;46(9):1842-54.
- Vasseur PB, Rodrigo JJ, Stevenson S, Clark G, Sharkey N. Replacement of the anterior cruciate ligament with a bone-ligament-bone anterior cruciate ligament allograft in dogs. *Clin Orthop Relat Res.* 1987(219):268-77.
- Vecchio NE, Hosgood G, Vecchio LE, Tobias TA. Changes in tibial plateau angles after tibial plateau-levelling osteotomy in dogs with cranial cruciate deficiency. *N Z Vet J.* 2012;60(1):9-13.
- Vezzoni A, Bohorquez Vanelli A, Modenato M, Dziezyc J, Devine Slocum T. Proximal tibial epiphysiodesis to reduce tibial plateau slope in young dogs with cranial cruciate ligament deficient stifle. *Vet Comp Orthop Traumatol.* 2008;21(4):343-8.
- Vilensky JA, O'Connor BL, Brandt KD, Dunn EA, Rogers PI. Serial kinematic analysis of the trunk and limb joints after anterior cruciate ligament transection: Temporal, spatial, and angular changes in a canine model of osteoarthritis. *J Electromyogr Kinesiol.* 1994a;4(3):181-92.
- Vilensky JA, O'Connor BL, Brandt KD, Dunn EA, Rogers PI, DeLong CA. Serial kinematic analysis of the unstable knee after transection of the anterior cruciate ligament: temporal and angular changes in a canine model of osteoarthritis. *J Orthop Res.* 1994b;12(2):229-37.
- Voss K, Damur DM, Guerrero T, Haessig M, Montavon PM. Force plate gait analysis to assess limb function after tibial tuberosity advancement in dogs with cranial cruciate ligament disease. *Vet Comp Orthop Traumatol.* 2008;21(3):243-9.
- Voss K, Galeandro L, Wiestner T, Haessig M, Montavon PM. Relationships of body weight, body size, subject velocity, and vertical ground reaction forces in trotting dogs. *Vet Surg.* 2010;39(7):863-9.
- Voss K, Imhof J, Kästner S, Montavon PM. Force plate gait analysis at the walk and trot in dogs with low-grade hindlimb lameness. *Vet Comp Orthop Traumatol.* 2007;20(4):299-304.
- Warzee CC, Dejardin LM, Arnoczky SP, Perry RL. Effect of tibial plateau leveling on cranial and caudal tibial thrusts in canine cranial cruciate-deficient stifles: an in vitro experimental study. *Vet Surg.* 2001;30(3):278-86.
- Weese JS, Faires M, Brisson BA, Slavic D. Infection with methicillin-resistant *Staphylococcus pseudintermedius* masquerading as cefoxitin susceptible in a dog. *J Am Vet Med Assoc.* 2009;235(9):1064-6.
- Weiss RA. Klinische und funktionelle Beurteilung verschiedener Operationstechniken beim vorderen Kreuzbandriß des Hundes. Zürich, Schweiz: Universität Zürich; 1990.
- West RV, Harner CD. Graft selection in anterior cruciate ligament reconstruction. *J Am Acad Orthop Surg.* 2005;13(3):197-207.
- Wheeler JL, Cross AR, Gingrich W. In vitro effects of osteotomy angle and osteotomy reduction on tibial angulation and rotation during the tibial plateau-leveling osteotomy procedure. *Vet Surg.* 2003;32(4):371-7.
- Whitehair JG, Vasseur PB, Willits NH. Epidemiology of cranial cruciate ligament rupture in dogs. *J Am Vet Med Assoc.* 1993;203(7):1016-9.
- Widmer WR, Buckwalter KA, Braunstein EM, Hill MA, O'Connor BL, Visco DM. Radiographic and magnetic resonance imaging of the stifle joint in experimental osteoarthritis of dogs. *Vet Radiol Ultrasound.* 1994;35(5):371-84.

- Wilke VL, Conzemius MG, Kinghorn BP, Macrossan PE, Cai W, Rothschild MF. Inheritance of rupture of the cranial cruciate ligament in Newfoundlands. J Am Vet Med Assoc. 2006;228(1):61-4.
- Winegardner KR, Scrivani PV, Krotscheck U, Todhunter RJ. Magnetic resonance imaging of subarticular bone marrow lesions in dogs with stifle lameness. Vet Radiol Ultrasound. 2007;48(4):312-7.
- Wucherer KL, Conzemius MG, Evans R, Wilke VL. Short-term and long-term outcomes for overweight dogs with cranial cruciate ligament rupture treated surgically or nonsurgically. J Am Vet Med Assoc. 2013;242(10):1364-72.
- Yanoff SR, Hulse DA, Hogan HA, Slater MR, Longnecker MT. Measurements of vertical ground reaction force in jumping dogs. Vet Comp Orthop Traumatol. 1992;5(02):44-50.
- Zachos TA, Arnoczky SP, Lavagnino M, Tashman S. The effect of cranial cruciate ligament insufficiency on caudal cruciate ligament morphology: an experimental study in dogs. Vet Surg. 2002;31(6):596-603.

9 ANHANG

Untersuchungsprotokoll Knie Prä OP		Aufkleber	
Datum			
Body Condition Score	Körpergewicht		
Dauer der Symptome			
betroffene Seite	<input type="checkbox"/> R	<input type="checkbox"/> L	
Lahmheitsgrad	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4
Sitztest	<input type="checkbox"/> N	<input type="checkbox"/> P	
Schubladentest	<input type="checkbox"/> N	<input type="checkbox"/> P	
Tibia-Kompressionstest	<input type="checkbox"/> N	<input type="checkbox"/> P	
Meniskusklick	<input type="checkbox"/> N	<input type="checkbox"/> P	
Arthroskopie		Datum	
Röntgen	<input type="checkbox"/>		
Befunde vorderes KB	<input type="checkbox"/> keine	<input type="checkbox"/> partieller Riss	<input type="checkbox"/> komplett <input type="checkbox"/> akut <input type="checkbox"/> chronisch
Befunde hinteres KB	<input type="checkbox"/> keine	<input type="checkbox"/> partieller Riss	<input type="checkbox"/> komplett <input type="checkbox"/> akut <input type="checkbox"/> chronisch
Befunde medialer Meniskus	<input type="checkbox"/> kein Befund	<input type="checkbox"/> Korbhenkel	<input type="checkbox"/> longitudina <input type="checkbox"/> radiär <input type="checkbox"/> Sonstige
Therapie Arthroskopie			
Zustand nach Arthroskopie:			
Kreuzband entfernt?	<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nein	
Meniskusresektion?	<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nein	
Tibia-Kompressionstest (Narkose post Arthroskopie)	<input type="checkbox"/> N	<input type="checkbox"/> P	
Schubladentest (Narkose post Arthroskopie)	<input type="checkbox"/> N	<input type="checkbox"/> P	
TPLO		Datum	
Body Condition Score	Körpergewicht		
Röntgen	<input type="checkbox"/>		
TPA	prä OP post OP		
Lahmheitsgrad	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4
Sitztest	<input type="checkbox"/> N	<input type="checkbox"/> P	
Tibia-Kompressionstest (Narkose nach OP)	<input type="checkbox"/> N	<input type="checkbox"/> P	
Schubladentest (Narkose nach OP)	<input type="checkbox"/> N	<input type="checkbox"/> P	
Kontrolle 6-8 Wochen post OP		Datum	
Body Condition Score	Körpergewicht		
Lahmheitsgrad	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4
Sitztest	<input type="checkbox"/> N	<input type="checkbox"/> P	
Schubladentest	<input type="checkbox"/> N	<input type="checkbox"/> P	
Tibia-Kompressionstest	<input type="checkbox"/> N	<input type="checkbox"/> P	
Fluoroskopie-Kinematografie	<input type="checkbox"/> uniplanar		
	Lahmheit: Grad 1 undeutlich geringgradig Body-Condition-Score: 1 kachektisch		
	Grad 2 deutlich geringgradig 2 mager		
	Grad 3 mittelgradig 3 normal		
	Grad 4 hochgradig (keine Belastung) 4 adipös		
	5 sehr adipös		

DANKSAGUNG

Mein Dank gilt Herrn Prof. Dr. Gerhard Oechtering für die Möglichkeit des Anfertigens meiner Dissertation an der Klinik für Kleintiere der Universität Leipzig.

Meinem Betreuer, Herrn Prof. Dr. Peter Böttcher, möchte ich für die Überlassung des Dissertationsthemas, die Korrektur und die fachliche Unterstützung danken.

Außerdem danke ich Herrn Prof. Dr. Lars Theyse für die Durchsicht der Arbeit und die jederzeit gewährte Hilfestellung.

Des Weiteren möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. Benjamin R. Auer für die Hilfe bei der statistischen Auswertung der Untersuchungsdaten bedanken.

Ein weiterer Dank gilt meinen Kolleginnen und Kollegen der Klinik für Kleintiere der Universität Leipzig, und im Besonderen den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Abteilung für Chirurgie, für den stetigen Rückhalt und die angenehme Zusammenarbeit.

Abschließend möchte ich mich ganz besonders bei meinen Eltern und meiner Schwester Uta bedanken, ohne deren Unterstützung und Motivation die Anfertigung der Arbeit nicht möglich gewesen wäre.